

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Anto Tomić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Krešimir Grilec, dipl. ing.

Student:

Anto Tomić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru profesoru dr. sc. Krešimiru Grilecu na ukazanom povjerenju i pomoći pri izradi završnoga rada. Također se zahvaljujem i izvanrednoj profesorici dr. sc. Suzani Jakovljević, asistentu mag. ing. Ivanu Primorcu i tehničkom suradniku Ivanu Vovku na pomoći pri ispitivanju uzoraka i korisnim savjetima.

Zahvaljujem se auto-servisu „Jerković“ na pruženoj pomoći pri prikupljanju potrebnih informacija i materijala za završni rad.

Posebno se zahvaljujem obitelji, prijateljima i svim ljudima koji su me podržavali za vrijeme mog dosadašnjeg školovanja.

Anto Tomić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **ANTO TOMIĆ**

Mat. br.: 0035197913

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

PRIMJERI TROŠENJA DIJELOVA CESTOVNIH VOZILA

Naslov rada na
engleskom jeziku:

EXAMPLES OF WEAR OF ROAD VEHICLES PARTS

Opis zadatka:

Redovno servisiranje cestovnih vozila nužno je zbog intenzivnog trošenja pojedinih dijelova. Zamjenu istrošenih dijelova provode ovlašteni servisi, ali se u manje zahtjevnim slučajevima ona često provodi u malim radionicama zbog financijske uštede.

U ovom radu je potrebno:

- 1) Opisati prostor i navesti korištene alate u kućnoj radionici za popravak automobila.
- 2) Navesti i opisati mehaničke dijelove cestovnih vozila koji se najviše troše ili kvare.
- 3) Pronaći primjere potrošenih dijelova i analizirati njihovo trošenje.
- 4) Identificirati materijale od kojih su načinjeni pronađeni dijelovi.
- 5) Provesti prateća ispitivanja te dati zaključak.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Zadatak zadao:

K. Grilec

Prof.dr.sc. Krešimir Grilec

Rok predaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.

3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.

2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.

3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

v.d. predsjednika Povjerenstva:

Branko Bauer

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD.....	1
1.1. CESTOVNA VOZILA	1
1.2. POVIJESNI RAZVOJ MOTORA I CESTOVNIH VOZILA	2
2. SERVISIRANJE CESTOVNIH VOZILA	8
2.1. Prve mehaničarske radionice	8
2.2. Edukacija i razvoj zanata	9
3. MALE RADIONICE	10
3.1. Opis prostora.....	10
3.1. Potrebni uređaji i alati	11
4. TRIBOLOGIJA [13].....	15
4.1. Pojam tribologija.....	15
4.2. Utjecaj površine	15
4.3. Trenje	16
4.3.1. Trenje klizanja.....	18
4.3.2. Trenje kotrljanja.....	19
5. TROŠENJE POVRŠINE	20
5.1. Abrazijsko trošenje	20
5.1.1. Otpor abrazijskom trošenju	21
5.2. Adhezijsko trošenje.....	21
5.2.1. Otpor adhezijskom trošenju	22
5.3. Umor površine.....	22
5.3.1. Otpor umoru površine	23
5.4. Tribokorozijsko trošenje	23
5.4.1. Otpornost na tribokoroziju	24
6. EKSPERIMENTALNI DIO RADA.....	25
6.1. Primjeri potrošenih dijelova.....	25
6.1.1. Spojka osobnog vozila	25
6.1.1.1. Potisna ploča tarne spojke.....	26
6.1.1.2. Tanjur tarne spojke	28
6.1.2. Kočioni disk 1	30
6.1.3. Kočiona obloga 1	32
6.1.4. Kočione obloge bubanj kočnice.....	36
6.2. Identifikacija materijala kočionog diska i pločice	38

6.2.1. Priprema uzoraka	43
6.2.1.1. Izrezivanje uzoraka	43
6.2.1.2. Čišćenje uzoraka	43
6.2.1.3. Ulijevanje	44
6.2.1.4. Mikrostruktura materijala pomoću svjetlosnog mikroskopa	45
6.2.1.5. Mjerenje tvrdoće uzoraka	46
6.2.1.6. Kvalitativna analiza površina uzoraka	49
7. ZAKLJUČAK.....	61
LITERATURA.....	62
PRILOZI.....	64

POPIS SLIKA

Slika 1. Podjela cestovnih vozila [1]	1
Slika 2. Lenoirov motor - 1860. godina [2].....	2
Slika 3. Damilerov motorkotač - 1885. godina [3]	2
Slika 4 Benzova trokolica - 1886. godina [3].....	3
Slika 5. Daimlerov četverokotač - 1886. godina [3]	3
Slika 6. Ford Model T – 1908. godina [4].....	4
Slika 7. Ford Model TT - 1917. godina [4].....	4
Slika 8. Volkswagen Beetle – 1938. godina [5]	5
Slika 9. Mercedes-Benz L 4500 – 1945. godina [6].....	5
Slika 10. Mercedes-Benz 220 SE – 1959. godina [5]	6
Slika 11. BMW 3 – 1975. godina [5]	6
Slika 12. Volkswagen Golf II – 1984. godina [5]	6
Slika 13. Audi A5 – 2017. godina [5]	7
Slika 14. Rimac Concept S – električni superautomobil iz Hrvatske - 2016. godina [5]	7
Slika 15. Radionica u Rockville-u (SAD) - 1915. godina [7]	8
Slika 16. Stupna dizalica [9]	11
Slika 17. Podna dizalica [9].....	11
Slika 18. Kolica s policama za spremanje alata [9].....	11
Slika 19. Radni stol [9].....	11
Slika 20. Zidna tabla za vješanje alata [9].....	11
Slika 21. Sabirnik ulja [9]	11
Slika 22. Ležaljka [9]	12
Slika 23. Kompresor [9]	12
Slika 24. Brusilica sa setom reznih i brusnih ploča [10].....	12
Slika 25. Pneumatska bušilica sa setom svrdala različitih dimenzija [10].....	12
Slika 26. Set nastavnih ključeva [9]	12
Slika 27. Set nastavnih imbus i torx ključeva [9].....	12
Slika 28. Set odvijača [9]	13
Slika 29. Momentni ključ [9]	13
Slika 30. Set okastih ključeva [12].....	13
Slika 31. Set viličastih ključeva [11].....	13
Slika 32. Podešavajući ključ [11]	13
Slika 33. Lančani ključ [12]	13
Slika 34. Mazalica [9]	14
Slika 35. Kliješta – različitih oblika [9]	14
Slika 36. Ključ za svijećice [9].....	14
Slika 37. Čekić – različitih veličina i oblika [9].....	14
Slika 38. LED lampa [9]	14
Slika 39. Izvlakač ležaja [9]	14
Slika 40. Neparalelnost površine [13]	15
Slika 41. Valovitost površine [13].....	15
Slika 42. Izbrazdanost površine [13].....	16
Slika 43. Hrapavost površine [13].....	16
Slika 44. Rezultantna površina [13]	16
Slika 45. Sila trenja [13].....	17

Slika 46. Trenje klizanja [13]	18
Slika 47. Faza I jediničnog događaja procesa klizanja [13]	18
Slika 48. Faza II jediničnog događaja procesa klizanja [13]	18
Slika 49. Faza III jediničnog događaja procesa klizanja [13]	19
Slika 50. Trenje kotrljanja [13]	19
Slika 51. Jedinični događaj abrazije [13]	20
Slika 52. Jedinični događaj adhezije [13]	21
Slika 53. Jedinični događaj umora površine [13]	22
Slika 54. Jedinični događaj tribokorozije [13]	23
Slika 55. Pomično mjerilo „Mitutoyo“ s podjelom 0,05 mm [14]	25
Slika 56. Novi set potisne ploče s potisnim ležajem	26
Slika 57. Tragovi trošenja na potisnoj ploči	27
Slika 58. Izmjerena debljina potisne ploče	27
Slika 59. Novi tanjur tarne spojke	28
Slika 60. Tragovi trošenja na tanjuru tarne spojke	29
Slika 61. Debljina tranjura tarne spojke	29
Slika 62. Novi kočioni disk [15]	30
Slika 63. Tragovi trošenja kočionog diska 1	31
Slika 64. Mjere potrošene površine kočionog diska 1	31
Slika 65. Nove kočione pločice [16]	33
Slika 66. Trošena površina kočione pločice 1	33
Slika 67. Debljina unutarnje strane vanjske kočione pločice 1	34
Slika 68. Debljina vanjske strane vanjske kočione pločice 1	34
Slika 69. Debljina unutarnje strane unutarnje kočione pločice 1	35
Slika 70. Debljina vanjske strane unutarnje kočione pločice 1	35
Slika 71. Potrošene obloge bubanj kočnice	36
Slika 72. Dijelovi sklopa bubanj kočnice [1]	36
Slika 73. Površina potrošene kočione obloge bubanj kočnice	37
Slika 74. Debljina kočionih obloga bubanj kočnica	37
Slika 75. Audi A4 Avant 2,0 TDI – 2008. godina	38
Slika 76. Novi kočioni disk [17]	39
Slika 77. Nove kočione obloge [17]	39
Slika 78. Temperaturna raspodjela na kočionom disku [19]	39
Slika 79. Prikaz kontakta tribološkog para kočionog diska i obloge	40
Slika 80. Ispitivani kočioni disk	40
Slika 81. Trošena površina ispitivanog diska	41
Slika 82. Dimenzije urezanog žlijeba na disku – unutarnji i vanjski dio diska	41
Slika 83. Ispitivana kočiona obloga	42
Slika 84. Trošena površina ispitivane kočione obloge	42
Slika 85. Mjesto izrezivanja uzorka diska	43
Slika 86. Mjesto izrezivanja uzorka obloge	43
Slika 87. Ultrazvučni čistač s uzorcima u posudi – čišćenje 180 sekundi	44
Slika 88. Zaliveni uzorci	44
Slika 89. Napuknuće uzorka diska	44
Slika 90. Uzorci na svjetlosnom mikroskopu „OLYMPUS GX51“	45
Slika 91. Mikrostruktura površine kočionog diska na svjetlosnom mikroskopu pod povećanjem 200x	45
Slika 92. Mikrostruktura površine kočione obloge na svjetlosnom mikroskopu pod povećanjem 100x	46
Slika 93. Tvrdomjer PMT 3	47

Slika 94. Skica penetratora i otiska kod metode po Vickersu	47
Slika 95. Uzorci tijekom ispitivanja tvrdoće	47
Slika 96. SEM s EDS-om	49
Slika 97. Postavljeni uzorci u SEM-u	49
Slika 98. Područje prve analize površine uzorka kočionog diska	50
Slika 99. Udio elemenata uzorka kočionog diska - 1	50
Slika 100. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočionog diska - 1	50
Slika 101. Mjesto druge analize površine uzorka kočionog diska	51
Slika 102. Udio elemenata uzorka kočionog diska - 2	51
Slika 103. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočionog diska - 2	51
Slika 104. Tipovi listića grafita prema ASTM normi	52
Slika 105. Prikaz površine uzorka kočione obloge	53
Slika 106. Mjesto prve analize površine uzorka kočione obloge	53
Slika 107. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 1	54
Slika 108. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge – 1	54
Slika 109. Područje druge analize površine uzorka kočione obloge	55
Slika 110. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 2	55
Slika 111. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 2	55
Slika 112. Područje treće analize površine uzorka kočione obloge	56
Slika 113. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 3	56
Slika 114. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 3	56
Slika 115. Područje četvrte analize površine uzorka kočione obloge	57
Slika 116. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 4	57
Slika 117. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 4	57
Slika 118. Područje pete analize površine uzorka kočione obloge	58
Slika 119. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 5	58
Slika 120. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 5	58
Slika 121. Područje šeste analize površine uzorka kočione obloge	59
Slika 122. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 6	59
Slika 123. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 6	59

POPIS TABLICA

Tablica 1. Potrebni uređaji i alati za opremanje radionice	11
Tablica 2. Potisna ploča tarne spojke	26
Tablica 3. Tanjur tarne spojke.....	28
Tablica 4. Kočioni disk 1	30
Tablica 5. Kočiona obloga 1	32
Tablica 6. Kočione obloge bubanj kočnice	36
Tablica 7. Kočioni disk 2	38
Tablica 8. Kočiona obloga 2	39
Tablica 9. Vrijednosti tvrdoće kočionog diska.....	48
Tablica 10. Vrijednosti tvrdoće kočione obloge	48

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
d	μm	Srednja duljina dijagonala kvadrata kod metode po Vickersu
d_1, d_2	μm	Duljina dijagonala kvadrata kod metode po Vickersu
e		Pomak rezultantne sile u odnosu na os kotača
F_k	N	Sila kotrljanja
F_R	N	Rezultantna sila
F_{tr}	N	Sila trenja
G	N	Težina
HV0.2		Tvrdoća po Vickersu pri sili od 2 N
p	Pa	Tlak
r	mm	Polumjer kotača
μ_{kotr}		Faktor kotrljanja

SAŽETAK

Povijest cestovnih vozila, kako automobila tako i kamiona i radnih strojeva seže još u 19. stoljeće. Od prvih vozila do danas čovjek je uspio napraviti ogromnu industriju baziranu na vozilima. Danas je automobilska industrija jedna od najnaprednijih u vidu osmišljanja novih tehnologija i otkrivanja novih primjena materijala kako bi vozila što bolje izvršavala svoju funkciju, bila što sigurnija te se što manje kvarila. Unatoč tome što je tehnologija toliko napredovala, tribologija i dalje stvara veliki problem kod održavanja funkcije cestovnih vozila. U ovom radu dan je prikaz dijelova vozila koji se najčešće troše te tako uzrokuju ograničenu funkciju vozila što predstavlja povećane troškove pri uporabi vozila.

Ključne riječi: trošenje, abrazija, vozila, kočioni disk, kočiona obloga

SUMMARY

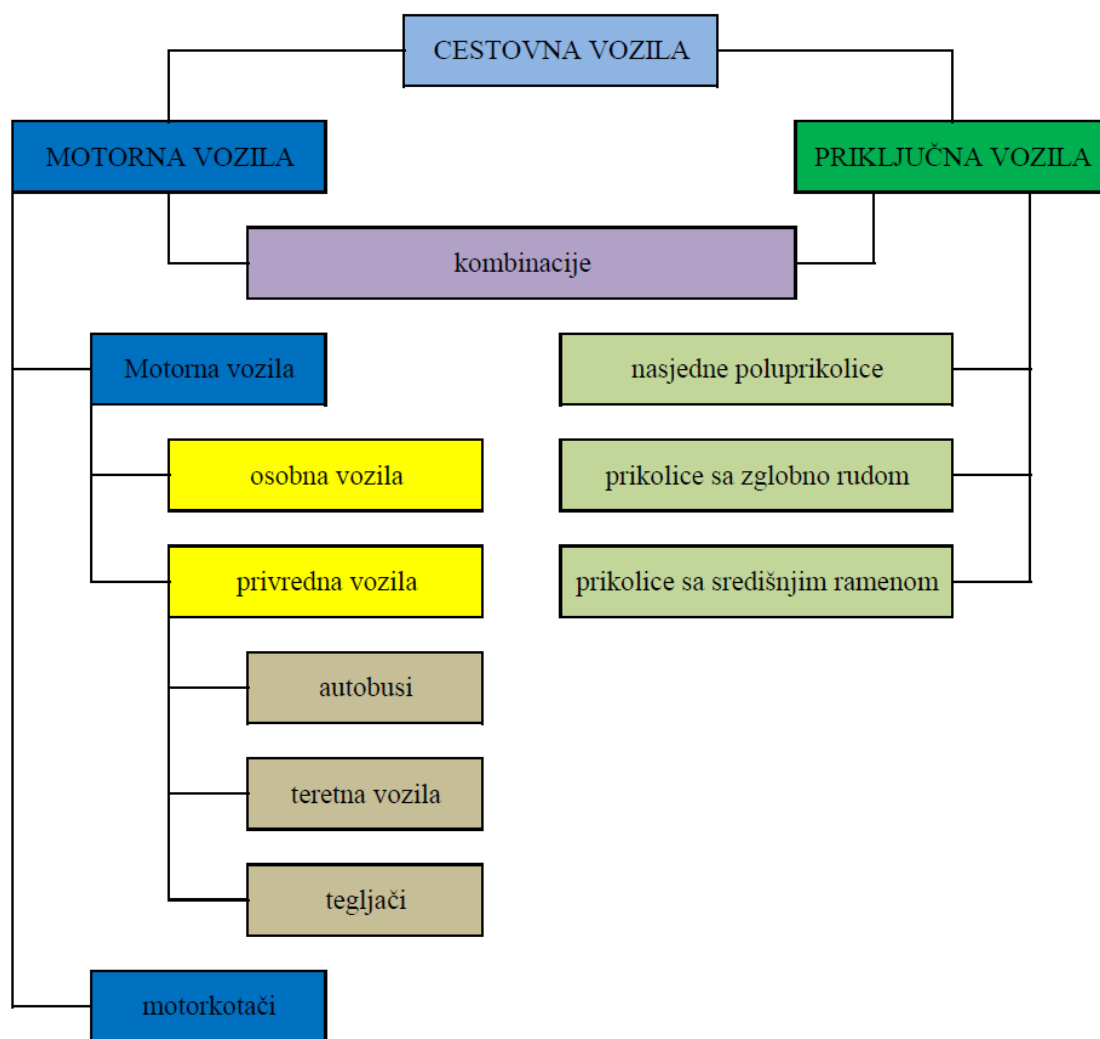
The history of road vehicles, as cars and trucks, dates back to the 19th century. Since the creation of the first vehicle, people managed to develop a massive industry based on vehicles. The car industry is one of the most progressive ones in form of conceiving new technologies and discovering new use of materials. The progress is crucial for receiving better use of vehicles and their durability. Despite the fact that technology has become very developed, tribology remains a huge problem in maintaining road vehicles. This paper provides a review on worn parts of vehicles since they are responsible for the limited function of machinery and increased cost of utilization.

Key words: wear, abrasion, vehicles, braking disc, braking pad

1. UVOD

1.1. CESTOVNA VOZILA

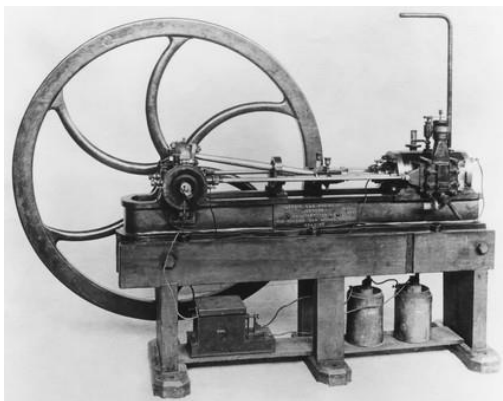
Cestovna vozila su sva ona vozila koja služe u cestovnom prometu te nisu na tračnicama. Ona se dijele na motorna i priključna vozila te u podskupine kako je prikazano na sljedećoj slici [1]:



Slika 1. Podjela cestovnih vozila [1]

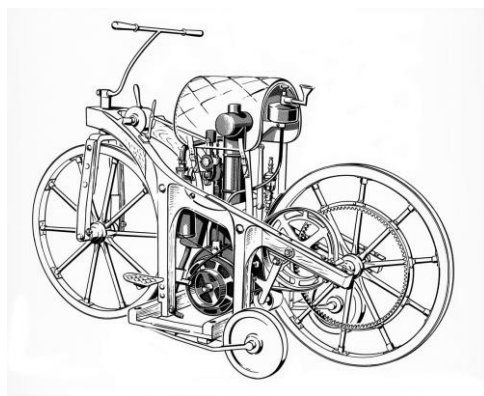
1.2. POVIJESNI RAZVOJ MOTORA I CESTOVNIH VOZILA

Prvi motor s unutarnjim izgaranjem izrađuje francuz Lenoir 1860. godine. To je bio dvotaktni dvoradni plinski motor, a njegov stupanj korisnosti bio je oko 3 posto, koliko su otprilike imali i parni strojevi tada.



Slika 2. Lenoirov motor - 1860. godina [2]

1867. godine Nikolaus August Otto i Langen predstavili su poboljšanu verziju Lenoirovog motora s oko 9 posto korisnosti, a sam N. A. Otto je 1876. konstruirao prvi četverotaktni motor s pogonom na plin. Taj je motor bio prvi motor s kompresijom smjese goriva. Daimler i Maybach su nešto kasnije razvili brzohodni četverotaktni motor s paljenjem pomoću užarene svjećice te dvije godine nakon toga Daimler konstruira prvi motorkotač. Motor je bio jednocilindrični s 260 cm^3 te $0,37\text{ kW}$ pri 600 min^{-1} . 1886. godine, godinu nakon izuma Daimlerovog motorkotača, Benz konstruira vozilo s tri kotača s također jednocilindričnim motorom od 990 cm^3 te $0,66\text{ kW}$ pri 400 min^{-1} . [1]

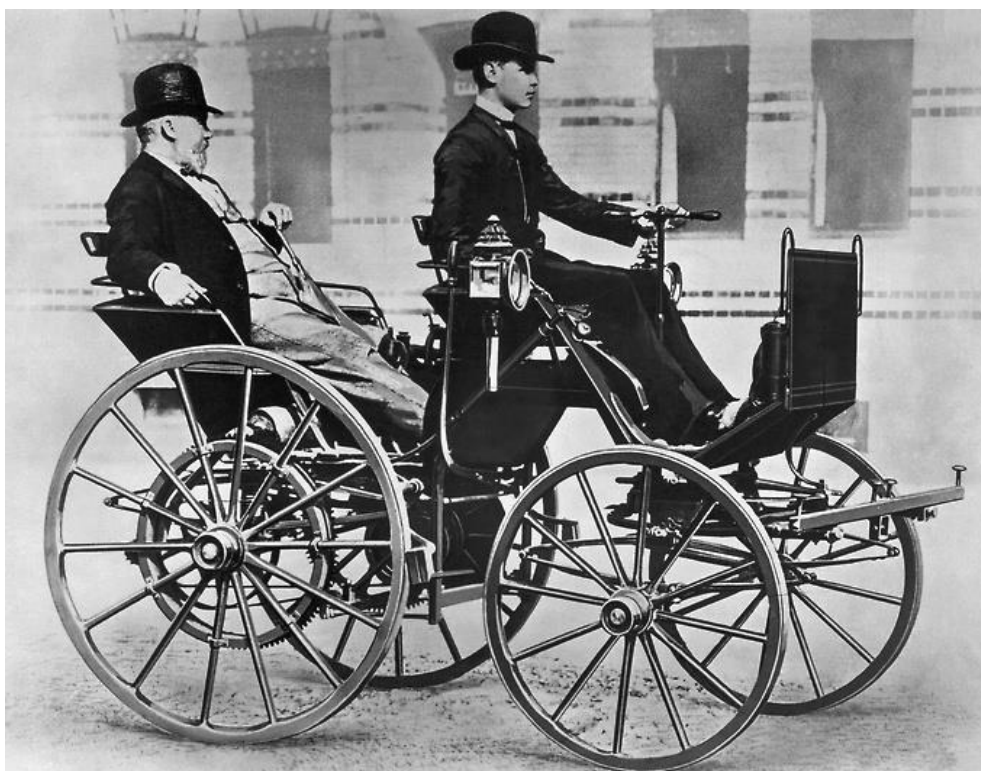


Slika 3. Daimlerov motorkotač - 1885. godina [3]



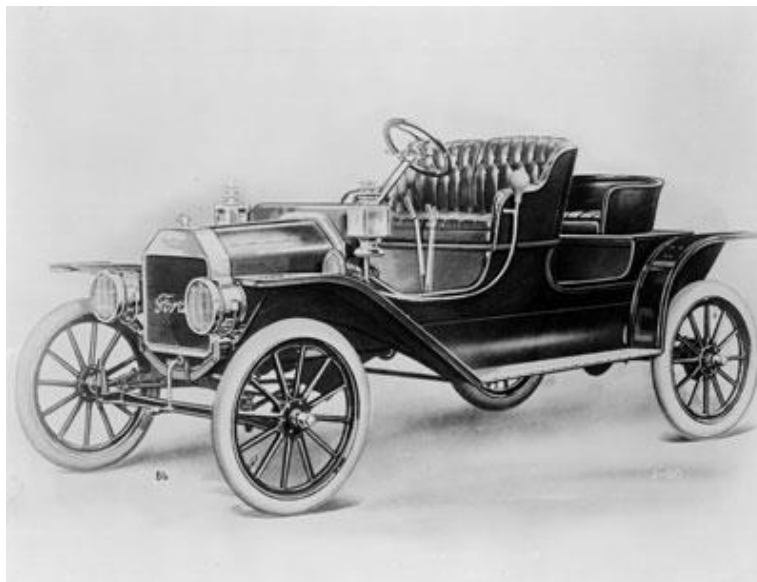
Slika 4 Benzova trokolica - 1886. godina [3]

Iste godine Daimler izrađuje vozilo na četiri kotača također pogonjeno jednocilindričnim benzinskim motorom. Motor je imao 460 cm^3 , 0.8 kW pri 400 min^{-1} . [1]



Slika 5. Daimlerov četverokotač - 1886. godina [3]

Slijede Dunlopov izum pneumatika, Maybachov izum rasplinjača s ubrizgačima te Diesellov kružnog procesa s različitim dovođenjem i odvođenjem topline, pri kojem se u motoru odvija kompresija čistog zraka i izgaranje teških ulja samopaljenjem. MAN je 1897. godine izradio prvi tzv. Diesellov motor. 1908. godine Ford izrađuje "Model T" pri čijoj izradi prvi put koristi tekuću traku koja je imala izuzetan utjecaj na cijelu industriju [1].



Slika 6. Ford Model T – 1908. godina [4]

U to doba Ford je bio vodeći u proizvodnji automobila, no 1917. godine otišao je korak dalje te izradio prvi kamion zvan Model TT [4]. Od toga trenutka počinje i razvoj kamiona te ostalih, danas zvanih "gospodarskih vozila".



Slika 7. Ford Model TT - 1917. godina [4]

U naredno vrijeme osnivaju se neke i danas poznate tvrtke poput BMW, FIAT i Rolls Royce. Benz-MAN 1923. godine izrađuju prvi kamion s dizelskim motorom, a 1936. godine Daimler - Benz počinju serijsku proizvodnju osobnih vozila s dizelskim motorima. Volkswagen, danas jedna od vodećih tvrtki u automobilskoj industriji osniva se 1938. godine te u naredno vrijeme slijede već velike promjene u motorima i izradi cestovnih vozila. [1]



Slika 8. Volkswagen Beetle – 1938. godina [5]



Slika 9. Mercedes-Benz L 4500 – 1945. godina [6]

Napredak pokazuju izumi poput Mercedesovog Otto motora s izravnim ubrizgavanjem goriva 1954. godine te Boschov izum elektronički upravljano ubrizgavanja benzina. [1]



Slika 10. Mercedes-Benz 220 SE – 1959. godina [5]



Slika 11. BMW 3 – 1975. godina [5]

Kasnije bitna nadogradnja u vozila je ABS 1978. godine, s punim nazivom prevedenim na hrvatski - Sustav protiv blokiranja kočnica [1].



Slika 12. Volkswagen Golf II – 1984. godina [5]

Nakon ABS-a dodatno se radilo na sigurnosti putnika dodavanjem zračnih jastuka i zaštitnog pojasa, a nakon toga sve do danas tehnologija korištena u automobilima se razvila do visokih granica. Motori većinom rade na istom principu, no sve se više primjenjuju električni motori, možda jednog dana i postignu jednak udio u korištenju kao motori s unutrašnjim izgaranjem. Najviše se unapređuju sustavi poput elektronskog ubrizgavanja, putnog računala, samokontrole vozila i slično. Svjedoci smo razdoblja u kojemu vozila mnogo toga obavljaju sama, kao što na najnovijim vozilima postoje funkcije vožnje vozila bez držanja volana, čak i bez vozača u samom vozilu.



Slika 13. Audi A5 – 2017. godina [5]



Slika 14. Rimac Concept S – električni superautomobil iz Hrvatske - 2016. godina [5]

2. SERVISIRANJE CESTOVNIH VOZILA

2.1. Prve mehaničarske radionice

Prvi su automobili bili dostupni samo imućnim ljudima te same popravke na istima najčešće su vršili proizvođači ili majstori drugih zanata koji su se snalazili u zahtjevima na automobilima.

Prvi automobil koji je bio dostupan većem broju ljudi jest Fordov Model T. Prodaja tog automobila je rapidno rasla te je Ford uskoro prodao prvih 500 000 automobila tog tipa. Do 1915. godine postigao je prodaju od 500 000 primjeraka godišnje. Korištenjem vozila, naravno, uskoro su se pojavili i kvarovi te sve veća potreba za ljudima koji ih mogu riješiti. U vremenu oko završetka Prvog svjetskog rata, počele su se otvarati prve mehaničarske radionice, mnogo njih u bivšim kovačnicama, trgovinama za prodaju alata i strojeva i sličnim radionicama.



Slika 15. Radionica u Rockville-u (SAD) - 1915. godina [7]

2.2. Edukacija i razvoj zanata

Postao je to unosan zanat te su se početkom 20-ih godina prošlog stoljeća u školama pokrenuli i prvi programi za izobrazbu mehaničara. 1950-ih godina rastom imovinskog stanja srednje klase, prodaja automobila znatno se povećala, a tako i zahtjevi za unapređenje istih. To je naravno dovelo do toga da i mehaničari trebaju biti sve vještiji i imati sve veće znanje kako bi vršili popravke sve složenijih dijelova.

U zadnjoj četvrtini prošloga stoljeća, razvojem računala i autoindustrija je doživjela veliki procvat u tehnološkom smislu. To su bili dodatni problemi za mehaničare i njihove radionice jer su trebali nove alate, nova znanja i vještine i naravno sve to konstantno unaprjeđivati kako bi održavali konkurentnost s ostalim radionicama. Od prvih radionica do danas, broj istih se konstantno povećavao, zadnjih 40-ak godina čak znatno više nego ikada do sada.

3. MALE RADIONICE

Manje radionice velikim servisnim centrima konkuriraju najčešće cijenom. Niža cijena nužno ne mora značiti i lošiju kvalitetu rada, najčešće je razlog nižoj cijeni samo privlačenje klijenata kako bi obrt tog mehaničara opstao pored velikih centara. Istina je da nude nešto manji broj usluga zbog nedostatka skupocjenih aparata i strojeva, no u klasičnim zamjenama potrošenih dijelova novim sigurno mogu zadovoljiti očekivanja klijenta.

U nastavku ovog poglavlja opisan je prostor manje radionice te osnovni potrebni alati za izvršavanje klasičnih zamjena starih dijelova novim.

3.1. Opis prostora

Kvadratura potrebnog prostora nije propisana, no za lakše obavljanje posla vlasnici radionica u prosjeku teže tome da naprave prostor u kojeg stanu dvije dizalice za osobna vozila, što dovodi do prosječnih mjera od 50 m². Gospodarska vozila najčešće popravljaju na otvorenom prostoru, odnosno na pločniku ispred radionice. Visina prostora, prvenstveno zbog dizalica, mora biti minimalno 3 m.

Osim glavne prostorije s dizalicama te potrebnim radnim stolovima potrebna je i uredska prostorija za zaprimanje klijenata, arhiviranje papirologije i izdavanje računa. Potrebno je imati i prostor za odlaganje starih dijelova. Taj prostor mora biti popločen, odnosno ukoliko nije zatvoren s gornje strane, s donje strane mora biti zaštićen kako nakon padanja kiše voda koja sa sobom povlači i mnogo čestica korozije nebi odlazila u tlo te tako zagađivala isto. Radionica bi trebala imati i toalet.

Unutar glavne prostorije potrebno je imati barem jedan radni stol, police za slaganje alata, dizalicu za osobni automobil ili kombi. Ukoliko nema ventilacije, potrebni su prozori koji se mogu otvarati. Prostoriju je potrebno opremiti i grijanjem, dvofaznim i trofaznim priključcima struje te naravno potrebno je imati i priključak za vodu.

3.1. Potrebni uređaji i alati

U tablici 1. dan je približan prikaz potrebnih alata, uređaja i strojeva za vršenje osnovnih zamjena dijelova i popravaka na vozilima.

Tablica 1. Potrebni uređaji i alati za opremanje radionice

 <p>Slika 16. Stupna dizalica [9]</p>	 <p>Slika 17. Podna dizalica [9]</p>
 <p>Slika 18. Kolica s policama za spremanje alata [9]</p>	 <p>Slika 19. Radni stol [9]</p>
 <p>Slika 20. Zidna tabla za vješanje alata [9]</p>	 <p>Slika 21. Sabirnik ulja [9]</p>



Slika 22. Ležaljka [9]



Slika 23. Kompresor [9]



Slika 24. Brusilica sa setom reznih i brusnih ploča [10]



Slika 25. Pneumatska bušilica sa setom svrdala različitih dimenzija [10]



Slika 26. Set nastavnih ključeva [9]



Slika 27. Set nastavnih imbus i torx ključeva [9]



Slika 28. Set odvijača [9]



Slika 29. Momentni ključ [9]



Slika 30. Set okastih ključeva [12]



Slika 31. Set viličastih ključeva [11]



Slika 32. Podešavajući ključ [11]



Slika 33. Lančani ključ [12]



Slika 34. Mazalica [9]



Slika 35. Kliješta – različitih oblika [9]



Slika 36. Ključ za svijećice [9]



Slika 37. Čekić – različitih veličina i oblika [9]



Slika 38. LED lampa [9]



Slika 39. Izvlakač ležaja [9]

4. TRIBOLOGIJA [13]

4.1. Pojam tribologija

Naziv tribologija dolazi od grčkog "*tribos*" što znači trenje, odnosno trošenje.

Tribologija je znanost i tehnika o površinama u dodiru i relativnom gibanju te o pratećim aktivnostima. Postoji i jednostavniji način da objasnimo pojam tribologije a to je da je ona znanstveno-stručna disciplina koja se sveobuhvatno bavi problemima trenja i trošenja.

4.2. Utjecaj površine

Ako pogledamo samo sustav vozila, najveći problem stvara trošenje dijelova uzrokovano klizanjem jedne površine po drugoj, pri čemu je većina površina materijala od kojih su izrađeni dijelovi vozila neravna i/ili hrapava.

Razlikujemo više vrsta neravnina:

- Makroneravnine – odstupanja od projektirane geometrije i dimenzija proizvoda
 - neparalelnost površina
 - valovitost
- Mikroneravnine – posljedica obradnih procesa
 - izbrazdanost
 - hrapavost
- Nanoneravnine – geometrijske granice kristalne ili molekularne strukture, nepravilnosti kristalne strukture

Sve ove vrste neravnina odnosno odstupanja površine zajedno daju rezultatnu površinu. Rezultantna površina se naime značajno razlikuje od idealno ravne površine.



Slika 40. Neparalelnost površine [13]



Slika 41. Valovitost površine [13]



Slika 42. Izbrazdanost površine [13]



Slika 43. Hrapavost površine [13]



Slika 44. Rezultantna površina [13]

4.3. Trenje

Trenje je sila ili otpor koja se suprotstavlja relativnom kretanju krutih tijela u dodiru i kako bi ostvarili gibanje između dodirnih ploha potrebno je savladati tu silu.

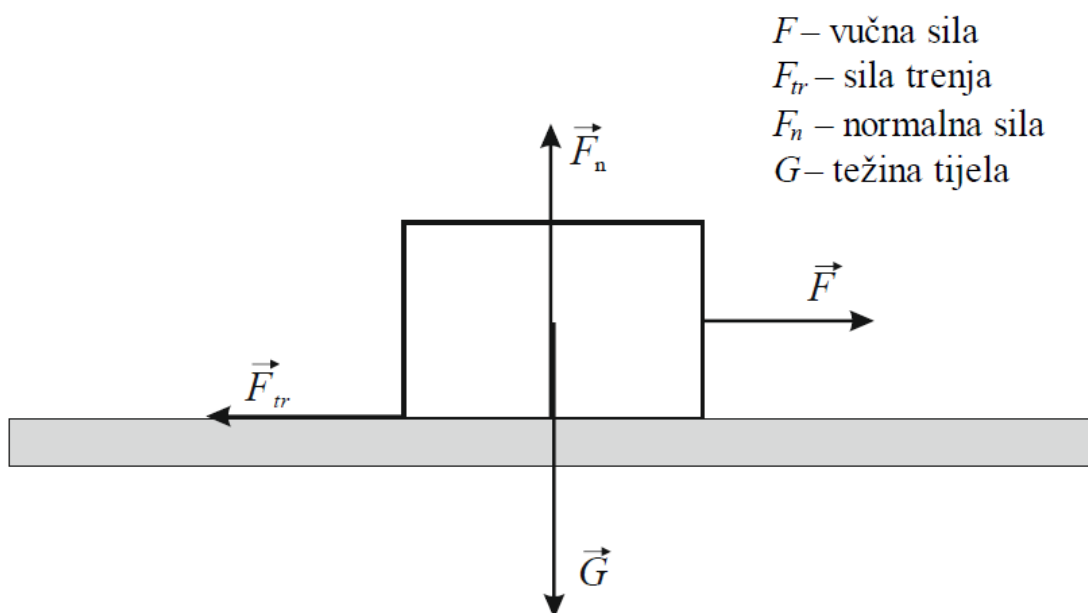
Sila trenja djeluje suprotno smjeru relativnog gibanja te djeluje tangencionalno na granicu između površina dvaju tijela. U većini slučajeva gdje se pojavljuje trenje smatra se štetnim, osim u slučajevima gdje se to trenje koristi u svrhu željenog usporavanja gibanja, kao što su na primjer kočnice na vozilima. Pri trenju dolazi do posljedica, a one su trošenje materijala te zagrijavanje istog.

Vrste trenja:

- prema agregatnom stanju tijela u kontaktu:
 - trenje među krutim površinama - vanjsko trenje
 - trenje među dijelovima fluida - tekućinsko trenje ili viskoznost
- vanjsko trenje se prema podmazivanju dijeli na:
 - suho trenje
 - trenje uz podmazivanje
- prilikom pokretanja tijela razlikuje se:
 - trenje mirovanja
 - trenje kretanja

Na trenje utječu:

- hrapavost oba tijela
- kemijski sastav materijala
- opterećenje
- brzina i način kretanja
- temperatura
- vrsta kontakta
- prethodno klizanje po tim površinama



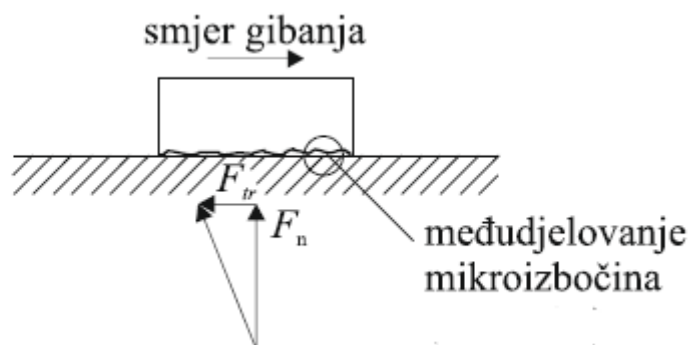
Slika 45. Sila trenja [13]

Faktor proporcionalnosti koji povezuje silu trenja i normalnu silu naziva se faktor trenja ili koeficijent trenja. Faktor trenja se izračunava prema formuli:

$$\mu = \frac{F_{tr}}{F_N}$$

4.3.1. Trenje klizanja

U ovom zadatku trošenje svih dijelova uzrokovano je prvenstveno trenjem klizanja, stoga je bitno prikazati elemente toga trenja. Ono nastaje između dva elementa tj. dvije površine tribosustava.



Slika 46. Trenje klizanja [13]

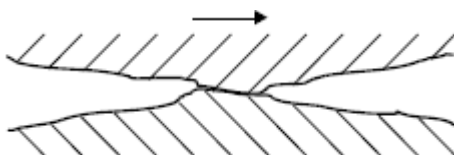
Kod trenja klizanja bitno je naglasiti da je u većini slučajeva stvarna dodirna površina između dva elementa tribosustava znatno manja nego li se to čini zbog geometrije tijela.

Proces dodira tribološkog para, od početka do završetka dodira, najbolje prikazuje jedinični događaj procesa klizanja.



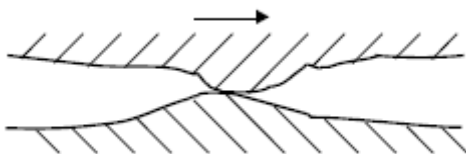
Slika 47. Faza I jediničnog događaja procesa klizanja [13]

Faza I - uključuje elastičnu i plastičnu deformaciju te brazdanje.



Slika 48. Faza II jediničnog događaja procesa klizanja [13]

Faza II - uključuje adhezijsko spajanje.



Slika 49. Faza III jediničnog događaja procesa klizanja [13]

Faza III - uključuje raskidanje spoja i elastični povrat.

4.3.2 Trenje kotrljanja

Trenje kotrljanja možemo definirati kao otpor pri kotrljanju kugli, kotača ili valjaka. Za trenje kotrljanja općenito vrijedi da je mnogo manje nego trenje klizanja.

Na sljedećoj slici dan je prikaz kotrljanja krutog kotača po deformabilnoj podlozi:

F_k - sila kotrljanja

F_{tr} - sila trenja

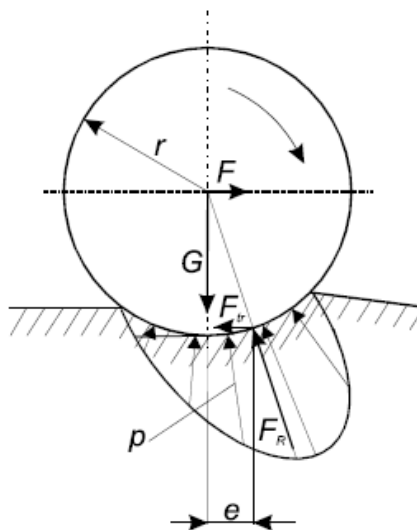
F_R - rezultantna sila

G - težina kotača

p - tlak

r - polumjer kotača

e - pomak rezultantne sile
u odnosu na os kotača



Slika 50. Trenje kotrljanja [13]

Silu trenja i normalnu silu odnosno težinu kotača možemo prikazati sljedećim izrazom:

$$F_{tr} = \frac{e}{r} G = \mu_{kovr} G$$

pri čemu je μ_{kovr} faktor kotrljanja, i on je jednak omjeru veličina e i r . Nažalost, veličina e ovisi o brojnim čimbenicima koje je vrlo teško kvatificirati što dovodi do toga da teorija o trenju kotrljanja ne postoji u decidarnom obliku.

5. TROŠENJE POVRŠINE

Trošenje površine definiramo kao postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticama.

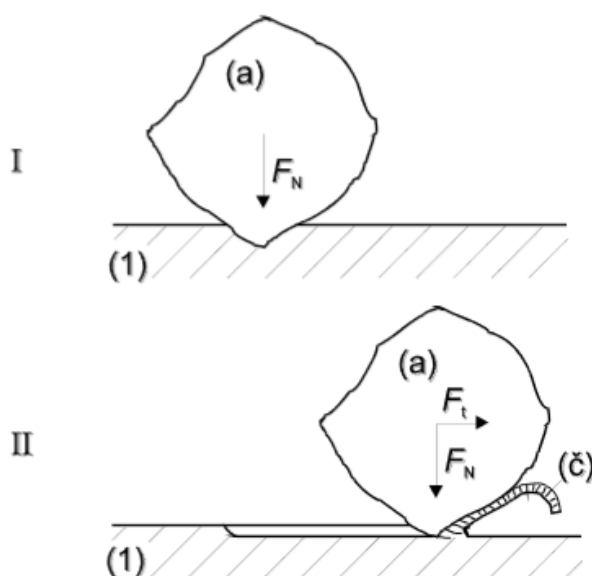
Poznajemo četiri osnovna mehanizma trošenja površine:

- abrazija
- adhezija
- umor površine
- tribokorozija

Mehanizmi trošenja opisuju se jediničnim događajima a jedinični događaj je slijed zbivanja koji dovodi do odvajanja jedne čestice trošenja s trošene površine. On uvijek uključuje proces nastajanja pukotina i proces napredovanja pukotina.

5.1. Abrazijsko trošenje

Abrazija je trošenje istiskivanjem materijala, uzrokovano tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama.



Slika 51. Jedinični događaj abrazije [13]

Jedinični događaj abrazije sastoji se od dvije faze:

I faza - prodiranje abraziva (a) u površinu materijala (1) pod utjecajem normalne komponente opterećenja F_N .

II faza - istiskivanje materijala u obliku čestica trošenja (č) pod utjecajem tangencijalne komponente opterećenja F_t .

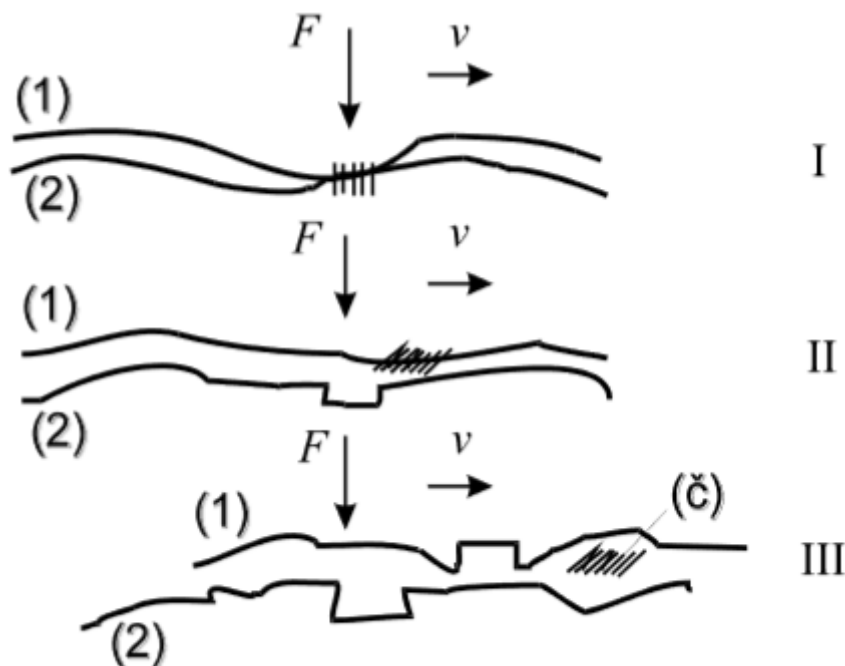
Otpornost na I fazu mehanizma abrazije (prodiranje abraziva u površinu materijala) određena je s više utjecajnih čimbenika, a najznačajniji je međusobni omjer mikrotvrdoće abraziva i materijala trošene površine.

5.1.1. Otpor abrazijskom trošenju

Na otpornost na II fazu mehanizma abrazije (istiskivanje materijala u obliku čestica trošenja) najutjecajniji čimbenik je način napredovanja pukotine koji općenito može biti: duktilni, krhki i umor (površine).

5.2. Adhezijsko trošenje

Adhezijsko trošenje karakterizira prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju, a zbog procesa zavarivanja krutih faza.



Slika 52. Jedinični događaj adhezije [13]

Jedinični događaj adhezije sastoji se od tri faze:

Faza I - Nastajanje adhezijskog spoja različitog stupnja jakosti na mjestu dodira izbočina

Faza II - Raskidanje adhezijskog spoja. Čestica trošenja ostaje spontano “nalijepljena” na jednom članu kliznog para.

Faza III - Otkidanje čestice (eventualno). Oblik čestica trošenja ovisi o uvjetima, a uglavnom je listićast.

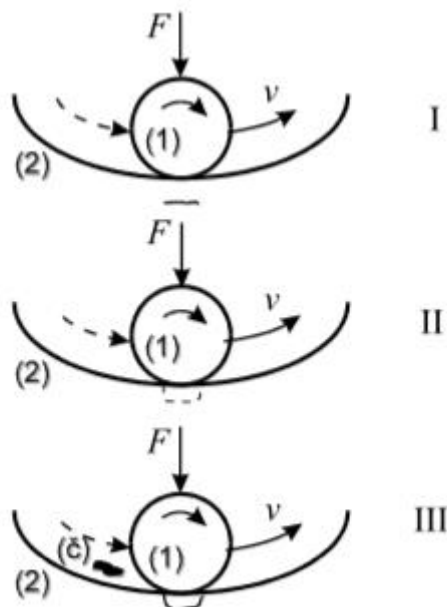
Čestice iščupane s jedne površine ostaju privremeno ili trajno “nalijepljene” odnosno navarene na drugu kliznu površinu.

5.2.1. Otpor adhezijskom trošenju

Otpornost na adhezijsko trošenje ovisi o sklonosti stvaranju mikrozavarenih spojeva kliznog para i jakosti uspostavljenih adhezijskih veza. Osnovni kriterij za ocjenu otpornosti na adhezijsko trošenje materijala tribopara je njihova tribološka kompatibilnost.

5.3. Umor površine

Umor površine definiramo kao odvajanje čestica s površine uslijed cikličkih promjena naprezanja.



Slika 53. Jedinični događaj umora površine [13]

Jedinični događaj umora površine sastoji se od tri faze:

Faza I (faza inkubacije) - nastaje podpovršinska mikropukotina jer je najveće smično naprezanje kod koncentriranog dodira uvijek ispod same površine

Faza II - podpovršinska pukotina izbija na površinu. Od toga trenutka iz pukotine redovito izlaze sitne kuglaste čestice

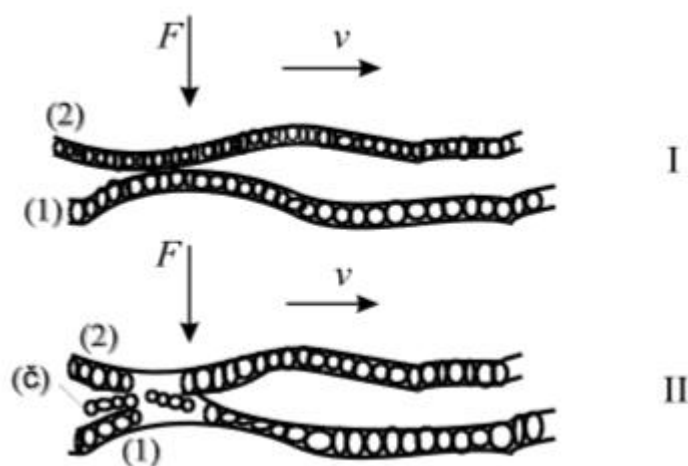
Faza III - dolazi do ispadanja krupne čestice oblika ivera, što na površini ostavlja oštećenje oblika rupice. Ovaj oblik trošenja se uobičajeno naziva „*pitting*“ (rupičenje).

5.3.1. Otpor umoru površine

Otpornost na umor površine naziva se i dinamička izdržljivost površine. Ovisi o otporu gibanju dislokacija na kojeg djeluje jako puno čimbenika. Neki od njih su oksidi i druge tvrde, krhke uključine, granice zrna, topografija i tekstura površine, zaostala naprezanja mikrostruktura, elastične deformacije i tako dalje.

5.4. Tribokorozijско trošenje

Tribokorozija ili tribokemijsko trošenje je mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolišem.



Slika 54. Jedinični događaj tribokorozije [13]

Jedinični događaj tribokorozije sastoji se od dvije faze:

Faza I – Stvaranje ili obnavljanje sloja produkata korozije

Faza II – Mjestimično razaranje sloja produkata korozije

5.4.1. Otpornost na tribokoroziju

Najvažniji čimbenik otpornosti na tribokoroziju je kemijska pasivnost materijala u određenom mediju. Tribokorozija je u pravilu "poželjan" mehanizam trošenja jer slojevi proizvoda korozije zaštićuju metalne površine od neposrednog dodira metal/metal.

6. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

6.1. Primjeri potrošenih dijelova

U ovom radu prikazati će se posljedice tribološkog trošenja na više različitih dijelova osobnih vozila. Najčešće su to dijelovi kočionog sustava jer je na njima moguće provesti mjerenja potrošenih površina dok kod ležaja i sličnih dijelova to nije moguće bez kompliciranog rastavljanja samog dijela.

Za mjerenje dimenzija potrošenih dijelova korišteno je pomično mjerilo.



Slika 55. Pomično mjerilo „Mitutoyo“ s podjelom 0,05 mm [14]

6.1.1. Spojka osobnog vozila

U transmisiji vozila spojke predstavljaju razdvojivu vezu između motora i mjenjača koje omogućuju:

- prijenos okretnog momenta motora na mjenjač
- prekid toka snage na mjenjač
- lagano i meko pokretanje vozila
- prigušivanje udarnih naprezanja i torzijskih vibracija
- zaštitu motora i transmisije od preopterećenja

Spojke mogu biti aktivirane ručnim ili nožnim upravljanjem, ali i automatski. Vrste spojki koje se ugrađuju u cestovna vozila su: tarne, hidrodinamičke, viskospojke i elektromagnetske.

U slučaju koji će se obraditi radi se o tarnoj spojci. Tarne spojke prenose okretni moment motora trenjem klizanja između pogonskog i gonjenog dijela. Pogonski dio spojke na motornim vozilima je zamašnjak, a gonjeni dio uzdužno je pomičan i montiran na vratilu spojke. Okretni moment, odnosno snaga koju prenose ove spojke, ovisi o tlačnoj sili koju

prenose ove spojke, koeficijentu trenja, srednjem radijusu, broju okretaja i tlačnoj sili kojom su tarne površine prirubljene. [1]

Trošenje dijelova tarne spojke uveliko ovisi o samom vozaču odnosno načinu njegovog upravljanja vozilom, što uključuje vrijeme mijenjanja brzina, izlaganje spojke određenim opterećenjima i tako dalje.

Osnovni dijelovi suhe tarne spojke s tanjurastom oprugom i jednim tanjurom su:

- kućište spojke (poklopac ili korpa)
- tanjur spojke (disk ili lamela)
- potisni ležaj
- potisna ploča [1]

6.1.1.1. Potisna ploča tarne spojke

Tablica 2. Potisna ploča tarne spojke

Dio:	Potisna ploča tarne spojke
Osobno vozilo:	Škoda Octavia 1,9 SLX TDI
Godište vozila:	1998.
Pređeni kilometri s ovim dijelom:	210 000 km
Cijena novog proizvoda:	≈ 1700 kn / komad



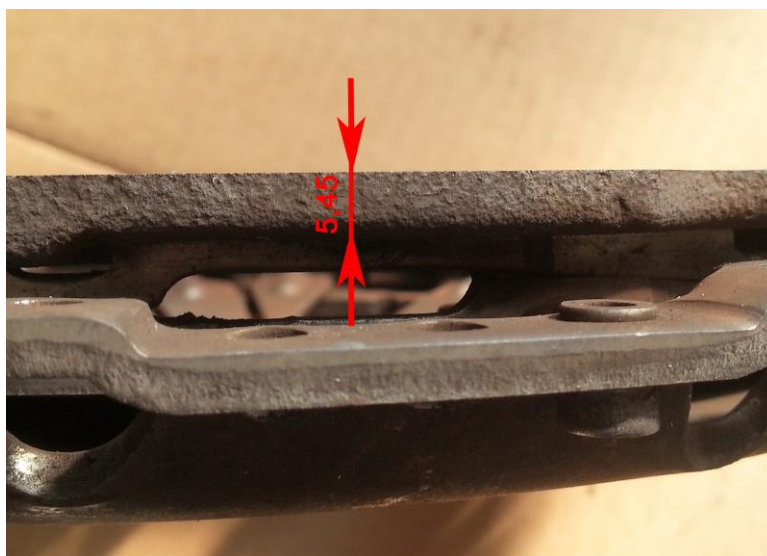
Slika 56. Novi set potisne ploče s potisnim ležajem



Slika 57. Tragovi trošenja na potisnoj ploči

Na slici 56. prikazani su tragovi trošenja prouzrokovani abrazijskim trošenjem između triboloških parova potisne ploče i tanjura spojke.

Na slici 57. prikazana je izmjerena debljina potisne ploče koja iznosi 5,45 mm. Na izmjerenu vrijednost utječe i debljina nečistoća na samoj ploči tako da nije moguće dati stvaran podatak o izgubljenoj debljini ploče. Prema ovoj izmjeri pretpostavljeni gubitak debljine potisne ploče je 0,55 mm.



Slika 58. Izmjerena debljina potisne ploče

6.1.1.2. *Tanjur tarne spojke***Tablica 3. Tanjur tarne spojke**

Dio:	Tanjur tarne spojke – „lamela“
Osobno vozilo:	Škoda Octavia 1,9 SLX TDI
Godište vozila:	1998.
Pređeni kilometri s ovim dijelom:	210 000 km
Cijena novog proizvoda:	≈ 300 kn / komad

**Slika 59. Novi tanjur tarne spojke**

Dio koji se troši na tanjuru tarne spojke su tarne obloge. One nam daju potrebni koeficijent trenja (μ): što je trenje veće, to se može prenijeti veći okretni moment, odnosno mogu se ugraditi manje i lakše spojke. Materijal za izradu obloga mora biti postojan na visoke temperature, otporan na trošenje i s velikim koeficijentom trenja koji će u što širem temperaturnom području biti ravnomjeran.

Ovo je primjer organske obloge koja se izrađuje od umjetnih vlakana (npr. aramidnih), punila (metalne piljevine, Cu ili Zn) i umjetne smole.

Osim organske obloge postoje metalne obloge koje se ugrađuju u mokrim spjkama (automatski mjenjači i lamelaste spojke motorkotača) i sinter keramičke obloge koje se ugrađuju u spojke posebnih sportskih i trkaćih vozila. [1]



Slika 60. Tragovi trošenja na tanjuru tarne spojke

Na slici 60. prikazani su vidljivi tragovi trošenja na tanjuru tarne spojke uzrokovani abrazijom. Tanjur tarne spojke se troši između zamašnjaka i potisne ploče spojke.

Na slici 61. prikazana je izmjerena vrijednost debljine tanjura spojke koja iznosi 6,40 mm. Debljina novog tanjura iznosi 10 mm. To nam govori da je tijekom 210 000 pređenih kilometara osobnim vozilom, a koristeći ovaj dio, potrošeno 3,60 mm obloge na tanjuru spojke. Obično se ovaj dio i mijenja u prosjeku na 190-200 000 km, no vozači s manje iskustva i s manjim vještinama u mijenjanju stupanja brzina ga mijenjaju već na oko 120 000 pređenih kilometara.



Slika 61. Debljina tanjura tarne spojke

6.1.2. Kočioni disk 1

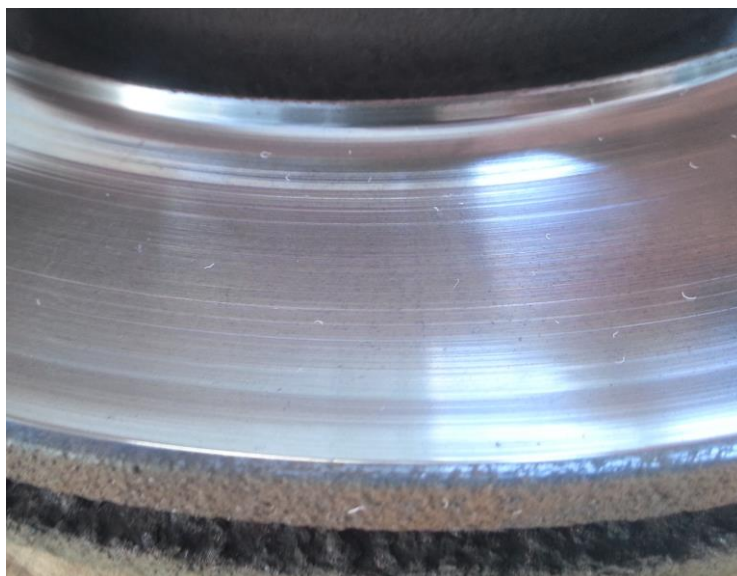
Tablica 4. Kočioni disk 1

Dio:	Kočioni disk
Osobno vozilo:	Volkswagen Caddy
Godište vozila:	1995.
Predeni kilometri s ovim dijelom:	120 000 km
Cijena novog proizvoda:	313 kn / komad
Mjesto ugradnje:	Prednja osovina
Strana:	Vanjska

Disk kočnice rade na principu da klipovi potiskuju čeljusti koje na sebi imaju obloge, one obuhvaćaju disk te pritiskom na kočnice stišću isti te trenjem usporavaju vozilo. Disk je najčešće lončastog oblika, izrađen iz sivog, temper ili čeličnog lijeva. Za trkaća vozila disk se izrađuje iz kompozita ojačanih ugljičnim vlaknima. Kod osobito visokih opterećenja koriste se samoventilirajući diskovi s radijalnim kanalima. Ponekad kočne površine diska imaju provrte i ovalne utore koji služe za brzi odvod vode što dovodi do toga da kočnice ravnomjerno hvataju te se smanjuje mogućnost pojave „fadinga“ (nema opasnosti stvaranja parnih jastuka isparavanjem s kočnih obloga). [1] Osnovni zahtjevi za materijale kočionih diskova su: dobra toplinska provodljivost, korozijska postojanost, otpornost na trošenje te niska cijena.



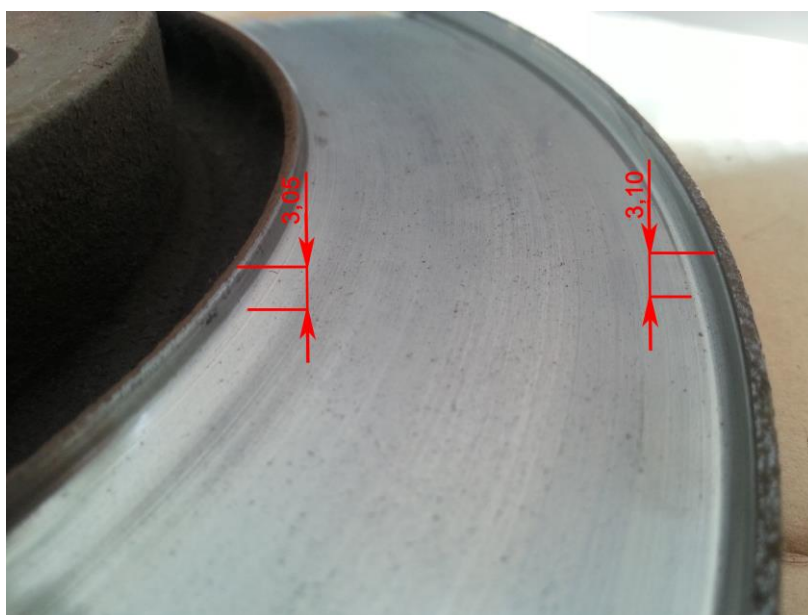
Slika 62. Novi kočioni disk [15]



Slika 63. Tragovi trošenja kočionog diska 1

Na slici 63. prikazana je vanjska strana kočionog diska koja je vidljivo potrošena djelovanjem trenja između obloge kočionog diska ili drugim nazivom pločice, i samog diska. U prosjeku se kočioni diskovi mijenjaju na svakih 130 do 140 000 pređenih kilometara, ovisno o načinu vožnje tijekom tog vremena.

Na slici 64. prikazane su izmjerene vrijednosti debljine potrošenog materijala na kočionom disku u kojemu je obloga trošeći ga, napravila žlijeb. Na strani bližoj osovini kotača potrošeno je 3,05 mm dok je na udaljenijoj strani potrošeno 3,1 mm. Debljina vanjske strane novog diska je 7 mm što nam govori da se potrošilo oko 40% materijala.



Slika 64. Mjere potrošene površine kočionog diska 1

6.1.3. Kočiona obloga 1

Tablica 5. Kočiona obloga 1

Dio:	Kočiona obloga / pločica
Osobno vozilo:	Škoda Octavia 1,9 TDI
Godište vozila:	2003.
Predjeni kilometri s ovim dijelom:	50000 km
Cijena novog proizvoda:	300 kn / 4 komada
Mjesto ugradnje:	Prednja osočina
Vanjska/unutarnja obloga:	Obje

Materijal kočnih obloga mora stvoriti veliko trenje i spriječiti zaribavanje. Kod disk kočnica obloge se lijepe na čelični nosač obloga. Materijal obloga mora imati sljedeća svojstva: visoka mehanička čvrstoća, trajnost, otpornost na visoke temperature, konstantan koeficijent trenja pri visokim temperaturama i velikim brzinama vrtnje i ne smije otvrdnuti pri visokim toplinskim opterećenjima.

Kočne obloge postoje su na temperaturama oko 800 °C, a koeficijent trenja im je oko 0,4.

Najčešće se koriste organske obloge, a za najteže uvjete i sintermetalne. Sadržaj organskih obloga ovisi o proizvođaču, no slijedi prikaz jednog sastava obloga:

- metali – čelična vuna (20 %), bakreni prah (16 %)
- punila – željezni oksid (10 %), barit (9,5 %), tinjac (6,5 %), aluminijev oksid (1,2 %)
- klizne tvari – koksni prah (16 %), antimonstrisulfid (6%) i grafit (4%)
- organske tvari – smolasti prah (4 %), aramidna vlakna (1,4 %) i vezivo (5,4 %) [1]



Slika 65. Nove kočione pločice [16]



Slika 66. Trošena površina kočione pločice 1

Na slici 66. prikazana je površina vanjske obloge koja je trošena abrazijom u tribosustavu kočioni disk – kočiona obloga. Pločica je izrađena od mekšeg materijala nego disk jer je cilj da se troši ona. Nju mijenjamo svakih 40 do 50 000 pređenih kilometara.



Slika 67. Debljina unutarnje strane vanjske kočione pločice 1



Slika 68. Debljina vanjske strane vanjske kočione pločice 1

Na slikama 67. i 68. vide se izmjere vanjske obloge. Debljina nove obloge iznosi 19,7 mm te je jednaka na vanjskoj i unutarnjoj strani. U ovom slučaju vidi se da je debljina potrošene pločice s vanjske strane 10,25 mm a s unutarnje 10,70 mm. Pločice se već za 50 000 km potroše više od 50 %, dok se njihov tribopar, kočioni disk, za oko 150 000 km potroši u prosjeku oko 40 %.



Slika 69. Debljina unutarnje strane unutarnje kočione pločice 1



Slika 70. Debljina vanjske strane unutarnje kočione pločice 1

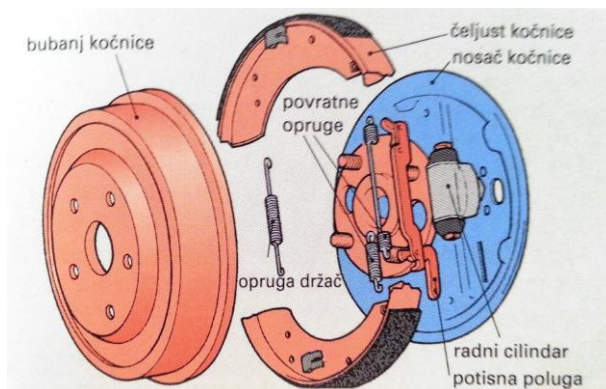
Slike 69. i 70. prikazuju debljinu unutarnje pločice koja se trošila o isti disk kao prethodno navedena vanjska pločica. Iz izmjerene debljine pločice vidi se da se ona nešto manje potrošila u odnosu na vanjsku. Mnogo je čimbenika koji utječu na to tako da se ne može sa sigurnošću reći što je razlog toga. Jedan od mogućih razloga je loše centriranje i pričvršćivanje obloga.

6.1.4. Kočione obloge bubanj kočnice**Tablica 6. Kočione obloge bubanj kočnice**

Dio:	Kočione obloge bubanj kočnice
Osobno vozilo:	Volkswagen Golf III
Godište vozila:	1995.
Pređeni kilometri s ovim dijelom:	90000 km
Cijena novog proizvoda:	180 kn / 4 komada
Mjesto ugradnje:	Stražnja osovina
Promjer:	200 mm
Širina:	40 mm

**Slika 71. Potrošene obloge bubanj kočnice**

Bubanj kočnice (čeljusne) danas se kod osobnih vozila prvenstveno primjenjuju na stražnjoj osovini te na svim kotačima kod teretnih vozila. Osnovni dijelovi bubanj kočnice su: bubanj, polukružne čeljusti s kočnim oblogama, povratne opruge, nosač čeljusti i nosač kočnice. [1]

**Slika 72. Dijelovi sklopa bubanj kočnice [1]**



Slika 73. Površina potrošene kočione obloge bubanj kočnice

Na slici 73. vidljivi su tragovi trošenja te isto tako poroznost materijala. Do trošenja dolazi trenjem bubnja kočnice i same obloge, ovisno o količini i sili kočenja dolazi i do uvjeta povišene temperature. I ovo je primjer abrazijskog trošenja. Obloge bubanj kočnice se u prosjeku mijenjaju svakih 100 000 pređenih kilometara. Izmjerene vrijednosti debljina obloga zajedno s čeljustima su 6,45 i 6,30 mm, dok je debljina novih obloga 8 mm (također zajedno s čeljusti).



Slika 74. Debljina kočionih obloga bubanj kočnica

6.2. Identifikacija materijala kočionog diska i pločice

Kako bi se detaljnije analiziralo trošenje dijelova cestovnih vozila potrebno je provesti identifikaciju materijala triboloških parova. Za uzorak je uzet tribološki par: kočioni disk i vanjska obloga, karakteristika danih u tablici 7. i 8.

Tablica 7. Kočioni disk 2

Dio:	Kočioni disk
Osobno vozilo:	Audi A4 Avant 2,0 TDI
Godište vozila:	2009.
Pređeni kilometri s ovim dijelom:	110 000 km
Cijena novog proizvoda:	595 kn/komad
Mjesto ugradnje:	Prednja osovina
Vrsta kočionog diska:	Iznutra ventilirana
Promjer:	314 mm
Debljina novog kočionog diska:	25 mm
Težina novog kočionog diska:	8,42 kg
Shema bušenja rupa:	05/06
Promjer centriranja:	68 mm



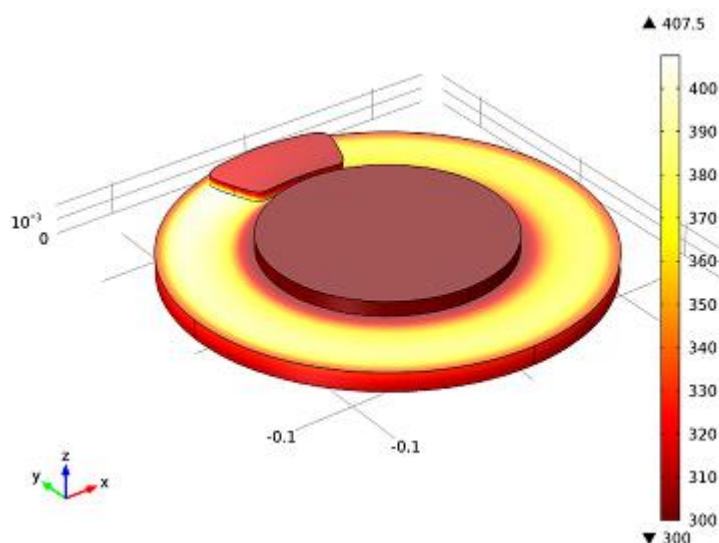
Slika 75. Audi A4 Avant 2,0 TDI – 2009. godina

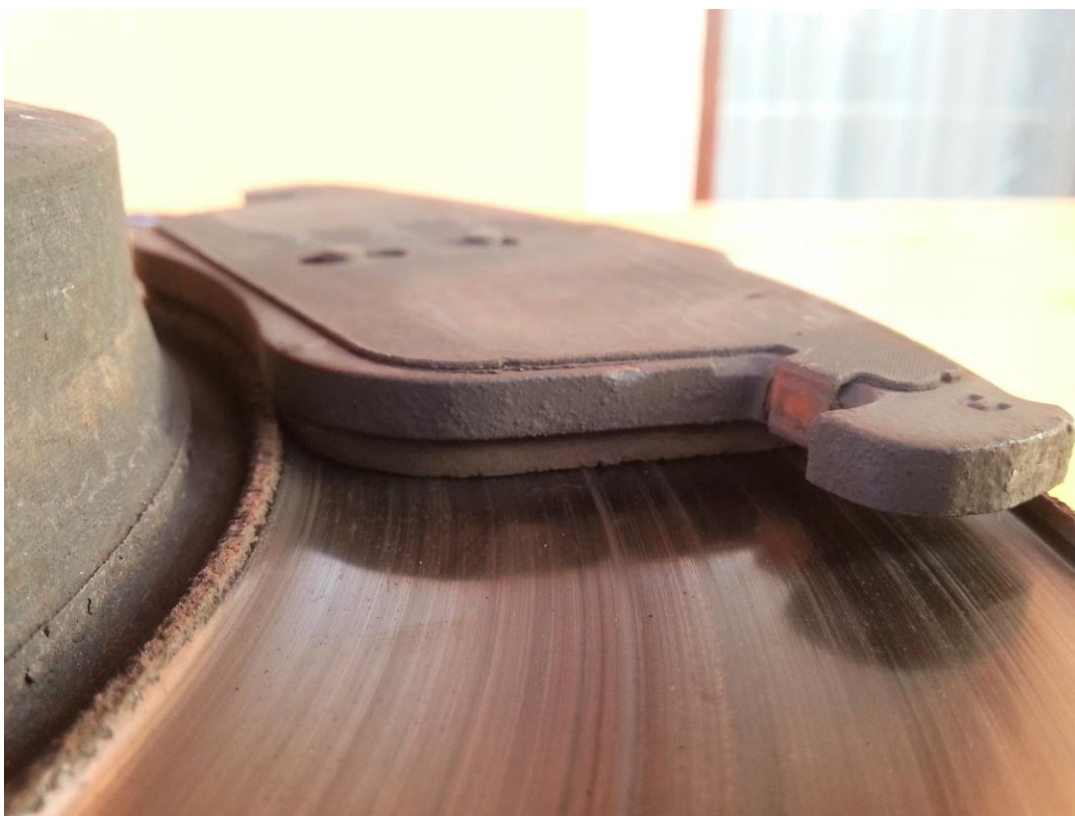
Tablica 8. Kočiona obloga 2

Dio:	Kočiona obloga
Osobno vozilo:	Audi A4 Avant 2,0 TDI
Godište vozila:	2008.
Pređeni kilometri s ovim dijelom:	50 000 km
Cijena novog proizvoda:	500 kn / 4 komada
Mjesto ugradnje:	Prednja osovina

**Slika 76. Novi kočioni disk [17]****Slika 77. Nove kočione obloge [17]**

Osim velikom trenju diskovi su izloženi i visokim temperaturama. Pri okretanju rade kao centrifugalni ventilatori, čime je postignuto intenzivno hlađenje. [1] Njihova temperaturna raspodjela u kelvinima za vrijeme kočenja u vremenu od 1,8 sekundi, može se vidjeti na slici 78.

**Slika 78. Temperaturna raspodjela na kočionom disku [19]**



Slika 79. Prikaz kontakta tribološkog para kočionog diska i obloge



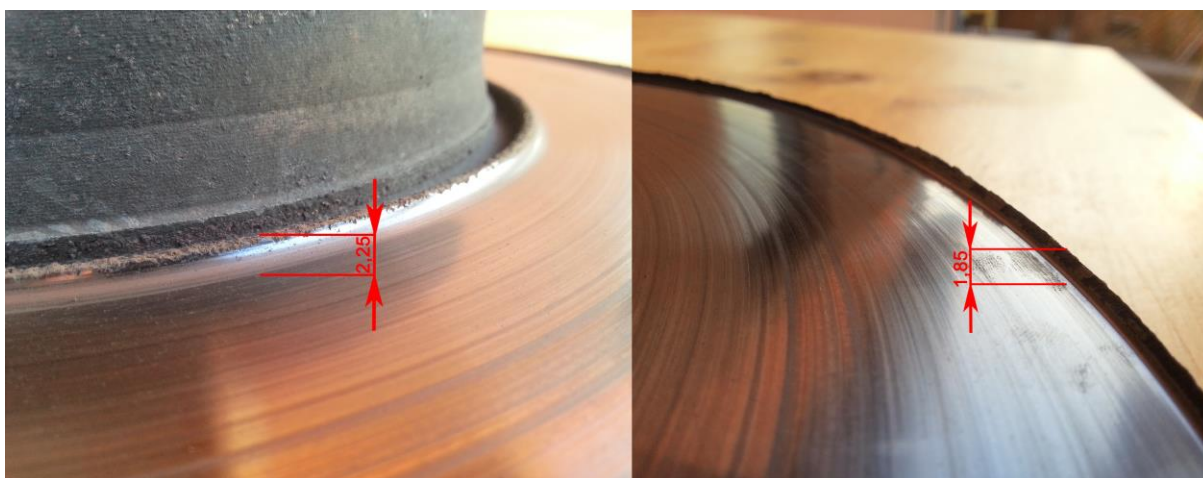
Slika 80. Ispitivani kočioni disk

Na samoj slici diska (slika 80.) vide se velike naslage nečistoća uzrokovanih između ostalog i korozijom koja je česta na diskovima zbog konstantnog dolaska u kontakt s vodom, korozivnim medijem i slično.



Slika 81. Trošena površina ispitivanog diska

Slika 81. prikazuje vidljive tragove trošenja na disku. Prema rubu se vidi i koliko je duboko kočiona obloga urezala žlijeb u njemu. Kao i u prošlom primjeru trošenja diska radi se o abrazivnom trošenju.



Slika 82. Dimenzije urezanog žlijeba na disku – unutarnji i vanjski dio diska

Na slici 82. moguće je uočiti razliku u debljini potrošenog materijala diska. Na unutarnjem radijusu diska potrošeno je 2,25 mm dok je na vanjskom potrošeno 1,85 mm diska. Takva razlika je moguća zbog lošeg postavljanja obloge na sami disk ili načeljust kočnice, ali i djelomično zbog razlika nakupljanja naslaga nečistoća na površinu rubova odakle je žlijeb mjerjen.



Slika 83. Ispitivana kočiona obloga



Slika 84. Trošena površina ispitivane kočione obloge

Na slici 84. osim vidljivog trošenja materijala moguće je vidjeti i nepravilna oštećenja. Takva oštećenja mogu nastati zbog trećeg tijela (kamenčića ili slično) koje se našlo između obloge i diska. To treće tijelo može biti i komadić materijala obloge koji se odvojio zbog nehomogenosti i poroznosti materijala.

6.2.1. Priprema uzoraka

Prije analize mikrostrukture uzorak je potrebno dobro pripremiti. Sama priprema uzorka sastoji se od izrezivanja istog, čišćenja, ulijevanja odnosno kalupljenja u mješavinu tekućine i duromerne smole, brušenja, poliranja i nagrivanja.

6.2.1.1. Izrezivanje uzoraka

Uzorci su izrezani brusilicom, u prikladnoj veličini za daljnju obradu i analizu.



Slika 85. Mjesto izrezivanja uzorka diska



Slika 86. Mjesto izrezivanja uzorka obloge

6.2.1.2. Čišćenje uzoraka

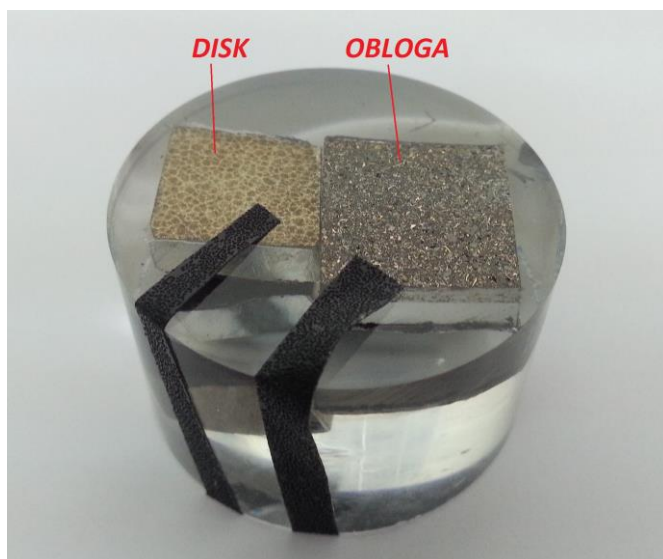
Kako bi s uzoraka bile uklonjene nečistoće upotrebljen je ultrazvučni čistač (Slika 87.). Ultrazvučni čistač je uređaj koji koristi ultrazvuk (najčešće od 20-400 kHz) i odgovarajuću tekućinu za čišćenje predmeta. Ultrazvuk može biti primijenjen u kombinaciji sa vodom i sa odgovarajućom otopinom koja poboljšava čišćenje. Čišćenje obično traje od 3 do 6 minuta. Ultrazvučno čišćenje koristi kavitacijske mjehuriće, proizvedene pomoću visoko frekventnih tlačnih (zvučnih) valova usmjerenih u tekućinu. Proces mućkanja stvara velike sile koje skidaju prljavštinu i nečistoće sa materijala kao što su metali, plastike, stakla, gume i keramika. Te sile također prodiru i u rupe, pukotine i u udubljenja. Namjera je temeljito uklanjanje svih tragova onečišćenja čvrsto pripijenih ili nastalih na čvrstim površinama. [18]



Slika 87. Ultrazvučni čistač s uzorcima u posudi – čišćenje 180 sekundi

6.2.1.3. Ulijevanje

Uzorci su kalupljeni postupkom hladnog ulijevanja. Izmješaju se tekućina i duromerna smola u obliku praha u omjeru 2:1. Nakon toga se uzorci zalijevaju i čeka se oko trideset minuta kako bi mješavina otvrdnula. Nakon otvrdnuća uzorci se vade iz kalupa.



Slika 88. Zaliveni uzorci

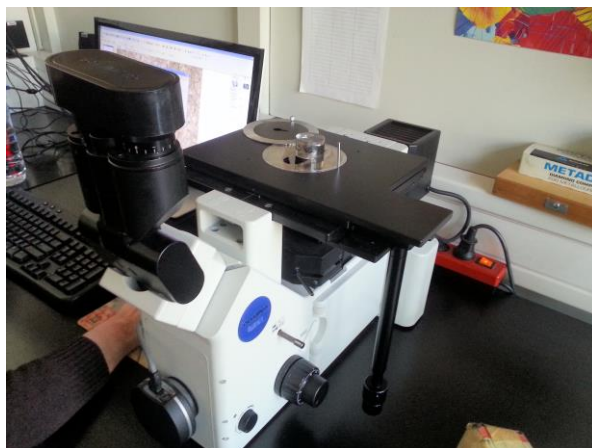


Slika 89. Napuknuće uzorka diska

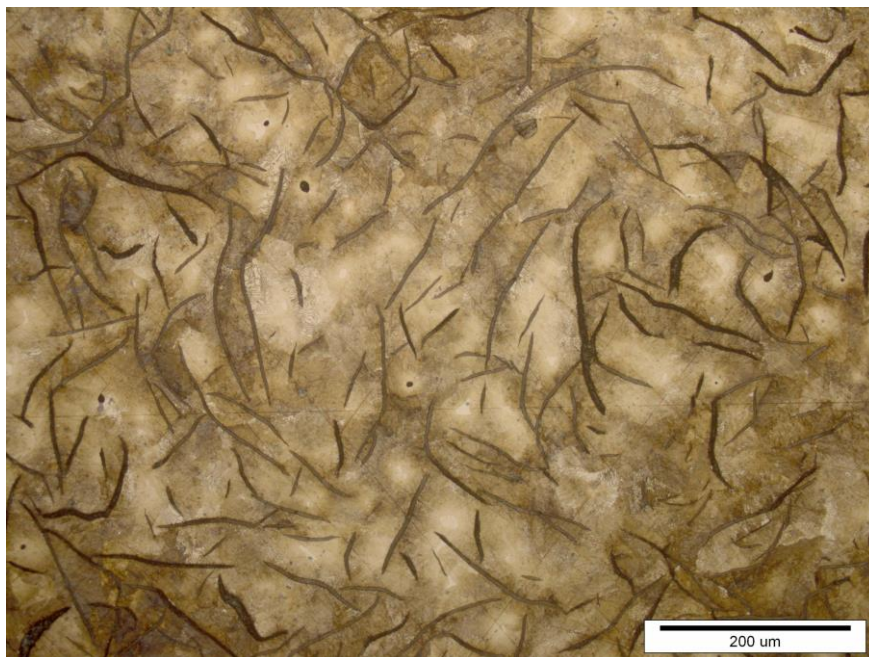
Na slici 89. vidi se napuknuće prilikom djelovanja tlačne sile tijekom ulijevanja. Prema tome se može pretpostaviti da se radi o krhkom materijalu.

6.2.1.4. Mikrostruktura materijala pomoću svjetlosnog mikroskopa

Prvi način proučavanja mikrostrukture materijala ovih uzoraka proveden je na svjetlosnom mikroskopu „OLYMPUS GX51“. Proučavana je mikrostruktura na povećanjima 100x, 200x, 500x i 1000x.

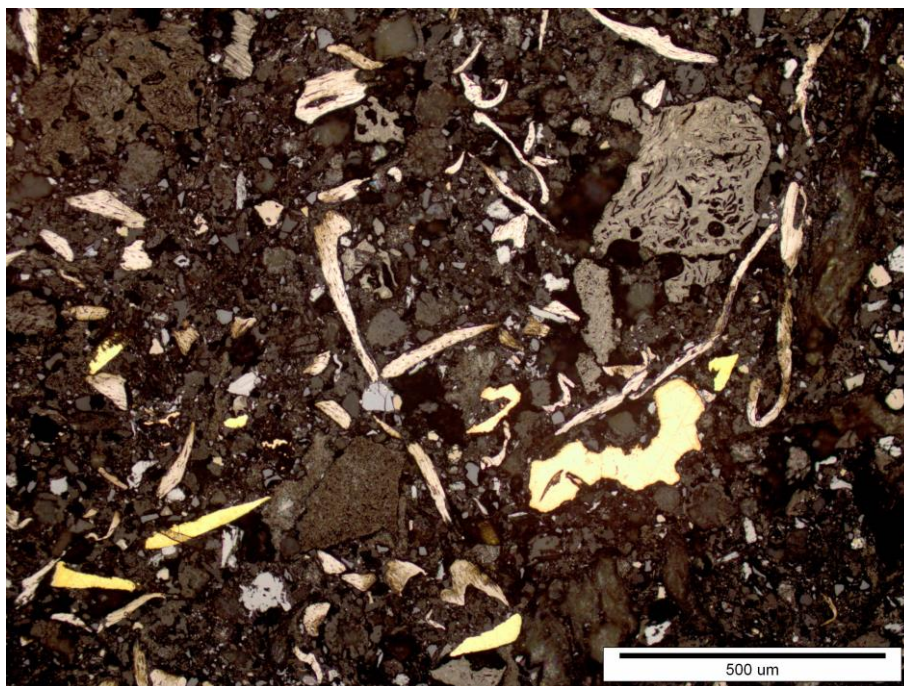


Slika 90. Uzorci na svjetlosnom mikroskopu „OLYMPUS GX51“



Slika 91. Mikrostruktura površine kočionog diska na svjetlosnom mikroskopu pod povećanjem 200x

Na slici 91. vidi se feritno-perlitna osnova te izlučeni listići (lamele) grafita. Vidi se gusta mikrostruktura, i odmah se može zaključiti da se radi o sivom lijevu. Kasnije će se detaljnije razraditi sastav sivog lijeva.



Slika 92. Mikrostruktura površine kočione obloge na svjetlosnom mikroskopu pod povećanjem 100x

Na slici 92. snimljenoj svjetlosnim mikroskopom vidi se komplicirana mikrostruktura te ovom prema njoj nije moguće otkriti o kojem se materijalu radi. Moguće je samo reći da se radi o mješavini materijala odnosno kompozitu.

U odlomku 6.1.3. moguće je vidjeti primjer sastava obloge, no on se razlikuje od proizvođača do proizvođača. Kako bi se detaljnije odredio sastav i mikrostrukturu ovog uzorka potrebna su daljnja ispitivanja.

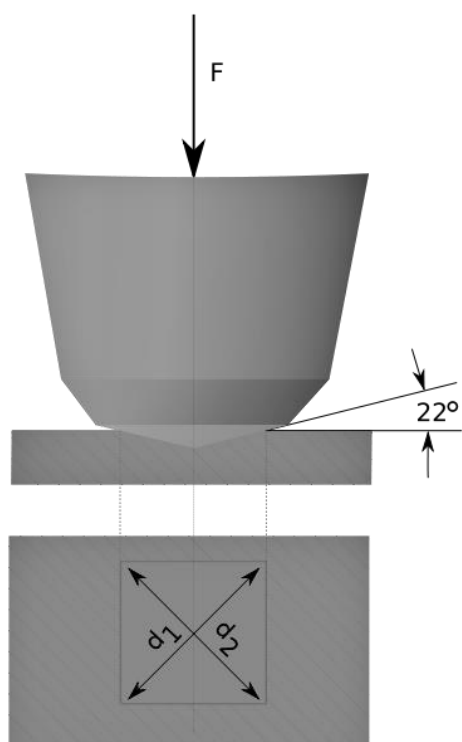
6.2.1.5. Mjerenje tvrdoće uzoraka

Kako bi se dobile dodatne informacije o materijalima uzoraka provedeno je mjerenje tvrdoće površina uzoraka na tvrdomjeru „PMT 3“ koji mjeri tvrdoću po Vickers metodi.

Tvrdoća po Vickersu (oznaka: HV) je mjera otpornosti što ga neki materijal pruža prodiranju dijamantne četverostrane piramide s vršnim kutom od 136° , opterećene silom F [N]. mjere se obje dijagonale kvadrata (d_1 i d_2) i uzima se srednja vrijednost dijagonale d . Tvrdoća po Vickersu je razvijena u tvrtci *Vickers Ltd.*, kao zamjena za ispitivanja tvrdoće po Brinellu. [20]



Slika 93. Tvrdomjer PMT 3



Slika 94. Skica penetratora i otiska kod metode po Vickersu



Slika 95. Uzorci tijekom ispitivanja tvrdoće

Izmjerene vrijednosti tvrdoće dane su u sljedećim tablicama 9. i 10.

Tablica 9. Vrijednosti tvrdoće kočionog diska

Redni broj mjerenja	Duljina dijagonala [μm]	HV0,2
1.	40,2	229
2.	37,8	260
3.	41,7	213
Srednja vrijednost	39,9	234

Iz tablice 9. vidi se da je tvrdoća površine kočionog diska, izmjerena po Vickers metodi, 234 HV0,2. Sivi lijevovi s ovom vrijednosti tvrdoće su tvrdi i teže ih se obrađuje obradom odvajanja čestica, što je u funkciji kočionog diska dobro jer će se teže trošiti.

Tablica 10. Vrijednosti tvrdoće kočione obloge

Redni broj mjerenja	Duljina dijagonala d [μm]	HV0,2
1.	134,4	20,5
2.	89,7	46,1
3.	52,9	133,0
4.	100,9	36,4
Srednja vrijednost	94,475	59

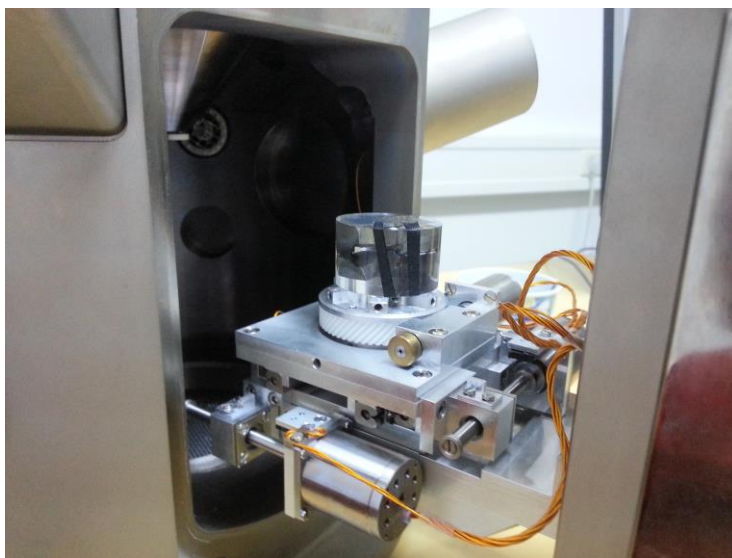
Provedena su 4 mjerenja. Vrijednosti mnogo odskaku ovisno o mjestu utiskivanja penetratora. Razlog takvih rezultata je nehomogenost materijala odnosno kompozitna struktura čiji su sastojci različitih tvrdoća. I dalje nije moguće odrediti od kojeg materijala se sastoji kočiona obloga.

6.2.1.6. Kvalitativna analiza površina uzoraka

Kako bi se dobile najtočnije informacije o udjelu konstituenata u površinama uzoraka kočionog diska i obloge korištena je metoda analize površinskog sloja skeniranjem elektronskim mikroskopom (SEM) (Slika 96.) s energetski disperzivnom rendgenskom spektroskopijom (EDS) (Slika 96.).



Slika 96. SEM s EDS-om

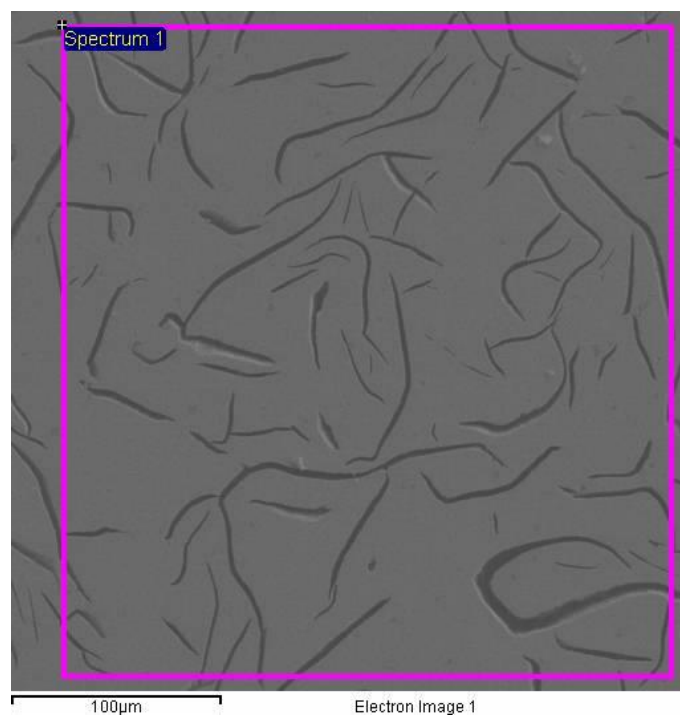


Slika 97. Postavljeni uzorci u SEM-u

Skenirajući elektronski mikroskop (SEM) radi na principu skeniranja površine ispitivanog uzorka vrlo precizno fokusiranim snopom elektrona. Za vrijeme skeniranja uzorak se nalazi na nosaču u komori mikroskopa. Izvor elektrona je katoda smještena u emisionoj komori. Elektroni se ubrzavaju na putu između katode i anode koje se nalaze pod visokim naponom te se dalje usmjeruju pomoću magnetskih leća na površinu uzorka. Komora se za vrijeme rada nalazi pod vakuumom. Prilikom udarca elektrona o površinu uzorka, događaju se razni efekti koji se koriste za dobivanje slike i provođenje analize u SEM-u.

Kod izbijanja elektrona iz elektronskog omotača atoma ostaje prazno vakantno mjesto koje se popunjava elektronom iz druge elektronske ljuske više energije. Prilikom tog skoka elektrona emitira se jedan kvant energije ili X-zraka. Energija ovako nastalog zračenja karakteristična je za svaki kemijski element i nju detektira i mjeri EDS detektor (engl. Energy Dispersive Spectrometer). EDS može iznimno brzo dati kvalitativnu sliku kemijskog sastava uzorka na temelju X - zraka koje emitira uzorak pod elektronskim snopom mikroskopa. EDS čak može određivati sastav površina debljine 1-2 μm . [21,22]

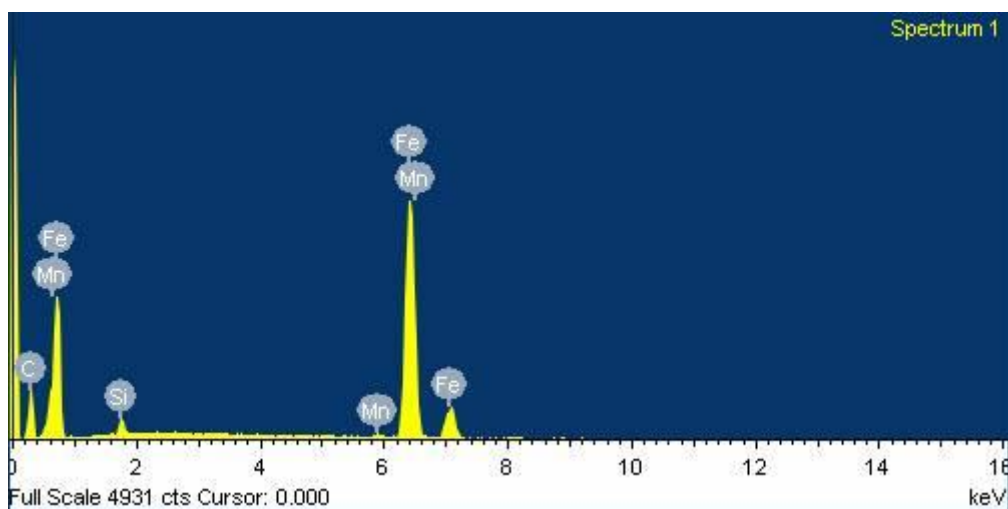
6.2.1.6.1. Kvalitativna analiza površine uzorka kočionog diska - 1



Slika 98. Područje prve analize površine uzorka kočionog diska

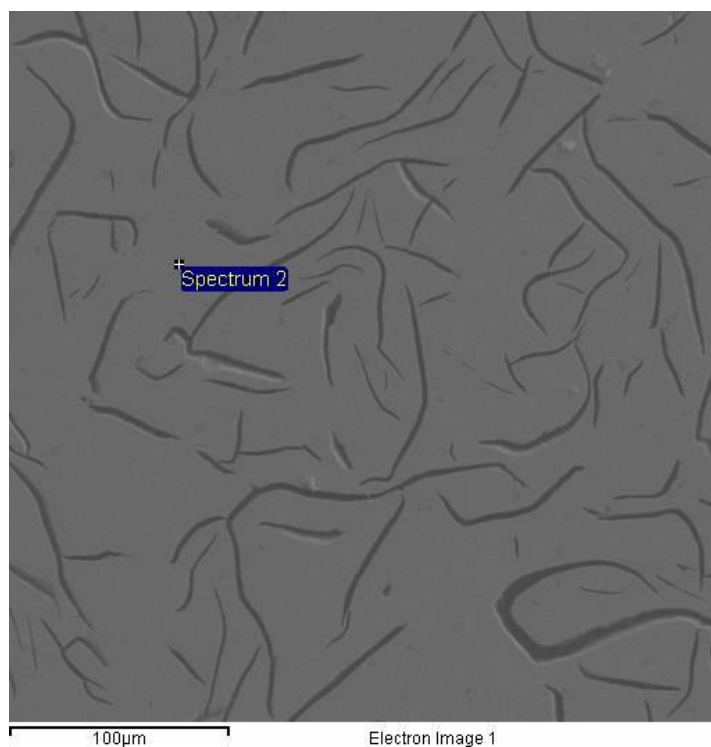
Element	Weight%	Atomic%
C K	25.25	60.65
Si K	1.42	1.45
Mn K	0.72	0.38
Fe K	72.62	37.52
Totals	100.00	

Slika 99. Udio elemenata uzorka kočionog diska - 1



Slika 100. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočionog diska - 1

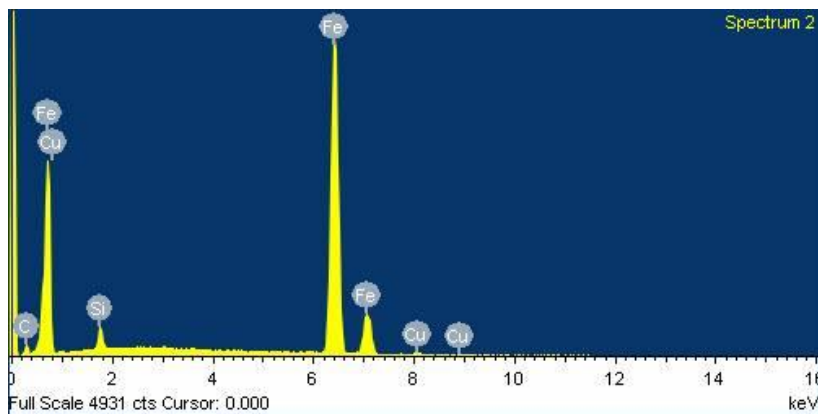
6.2.1.6.2. Kvalitativna analiza površine uzorka kočionog diska - 2



Slika 101. Mjesto druge analize površine uzorka kočionog diska

Element	Weight%	Atomic%
C K	6.92	25.28
Si K	2.12	3.32
Fe K	89.96	70.71
Cu K	1.00	0.69
Totals	100.00	

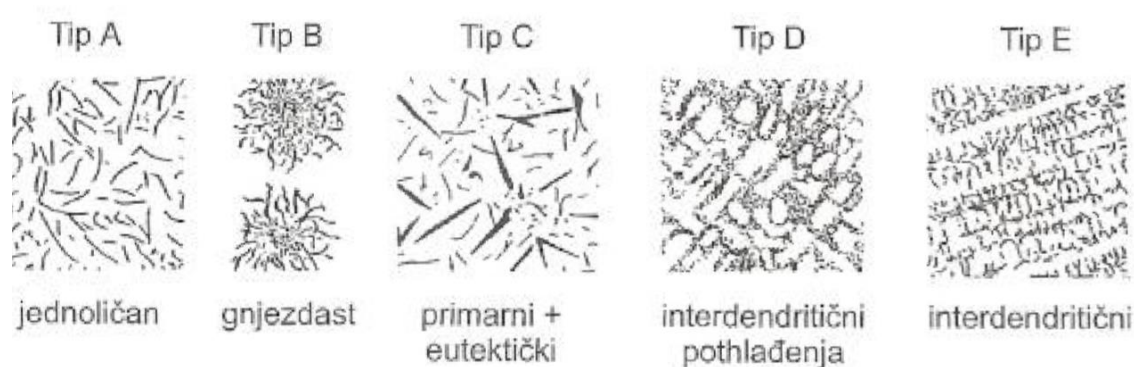
Slika 102. Udio elemenata uzorka kočionog diska - 2



Slika 103. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočionog diska - 2

Prema dobivenim podacima potvrđuje se tvrdnja da je materijal izrade kočionog diska sivi lijev. EDS pokazuje da ima 6,92% ugljika iako se u literaturi nalazi da su granice udjela od 2,5 do 4,5%. Povišeni udio ugljika može biti rezultat nečistoća na površini uzorka jer uzorak prilikom skeniranja nije bio nagrižen. Osim ugljika i željeza, prisutni su i silicij i bakar. Kemijski sastav u prethodnim tablicama samo je orijentacijski.

Sivi lijev se dobiva pretaljivanjem sivog sirovog željeza i stare lomljevine čelika i lijeva u kupolci. Veći dio ugljika izdvaja se u obliku listića (lamela) grafitu, a manji dio u cementitu. Silicij se dodaje kako bi forsirao grafitizaciju kako bi postigli grafit iako hlađenje nije izuzetno sporo. [23]

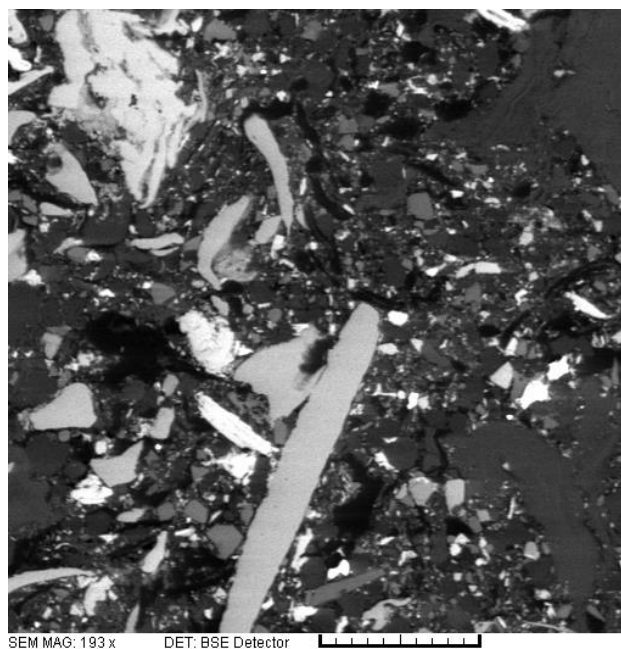


Slika 104. Tipovi listića grafitu prema ASTM normi

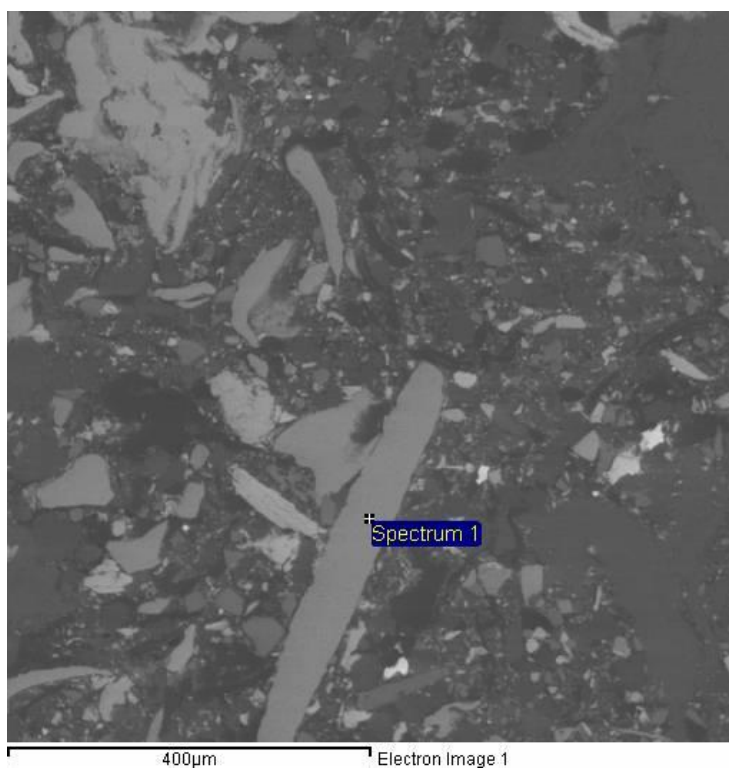
Uspoređujući sliku 99. ili 102. sa slikom 105. odnosno tipovima listića grafitu, dolazi se do zaključka da je tip listića grafitu u sivom lijevu kočionog diska jednoličan.

6.2.1.6.3. Kvalitativna analiza površine uzorka kočione obloge – 1

Kako bi se analizirao materijal drugog uzorka – kočione obloge, potrebno je više analiza sastava da bi se dobila jasnija slika materijala. U sljedećim slikama dani su rezultati analiziranja.



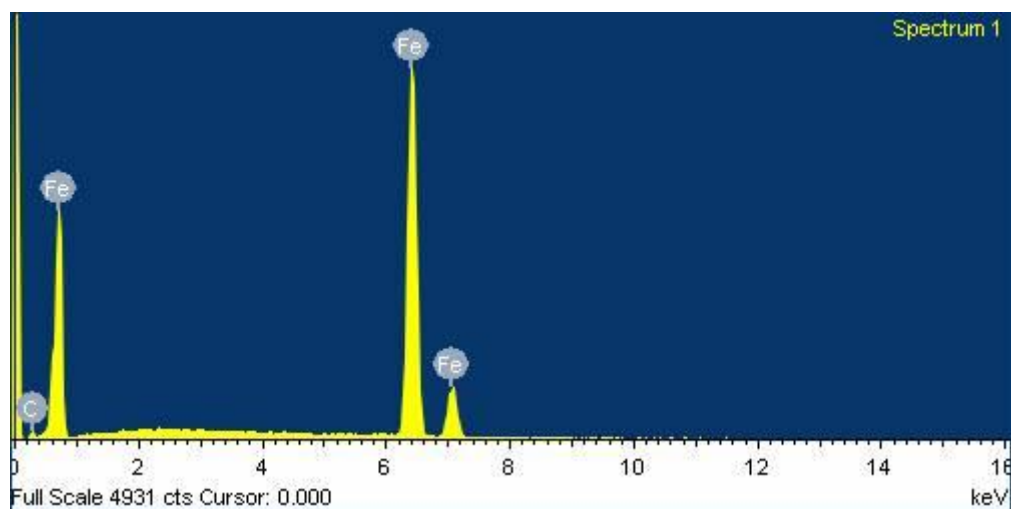
Slika 105. Prikaz površine uzorka kočione obloge



Slika 106. Mjesto prve analize površine uzorka kočione obloge

Element	Weight%	Atomic%
C K	4.16	16.80
Fe K	95.84	83.20
Totals	100.00	

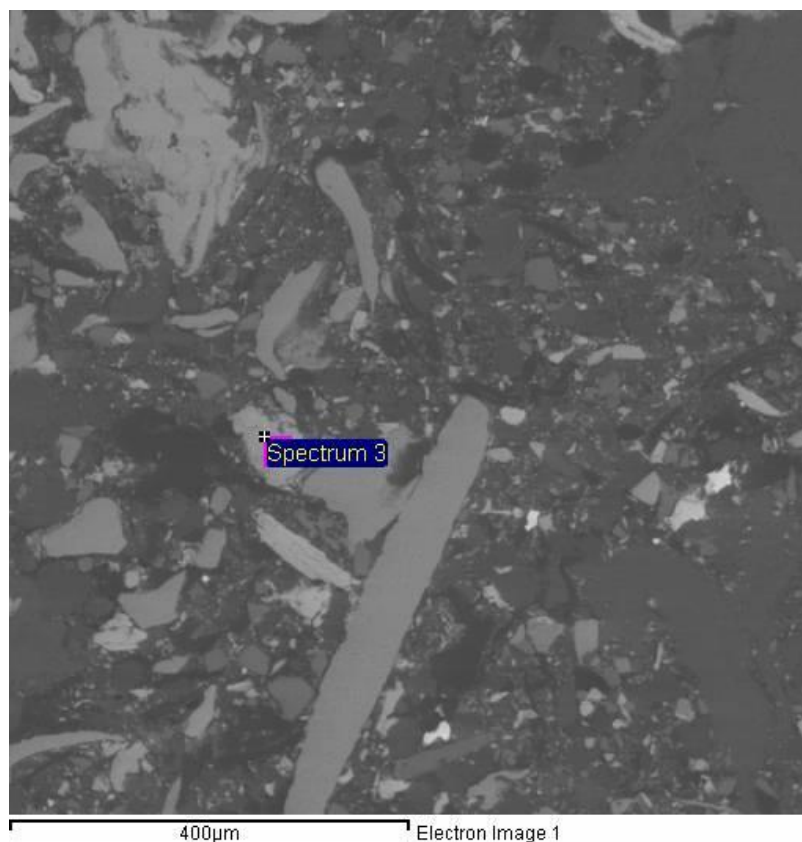
Slika 107. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 1



Slika 108. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge – 1

Prema dobivenim podacima vidi se da se ovdje radi o metalnom ojačanju u obliku željeznog karbida.

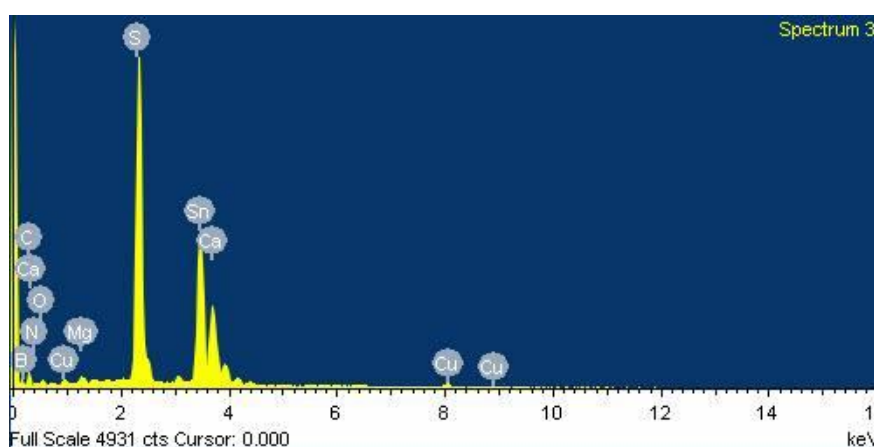
6.2.1.6.4. Kvalitativna analiza površine uzorka kočione obloge – 2



Slika 109. Područje druge analize površine uzorka kočione obloge

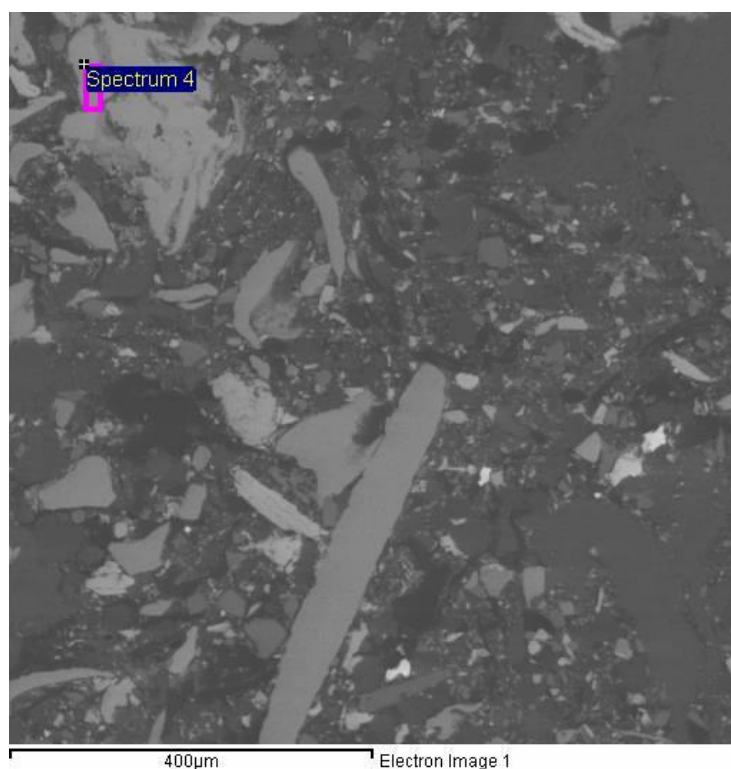
Element	Weight%	Atomic%
B K	19.80	43.10
C K	19.11	37.45
N K	-6.65	-11.17
O K	3.69	5.43
Mg K	0.54	0.52
S K	21.85	16.03
Ca K	0.26	0.15
Cu K	1.58	0.58
Sn L	39.81	7.89
Totals	100.00	

Slika 110. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 2



Slika 111. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 2

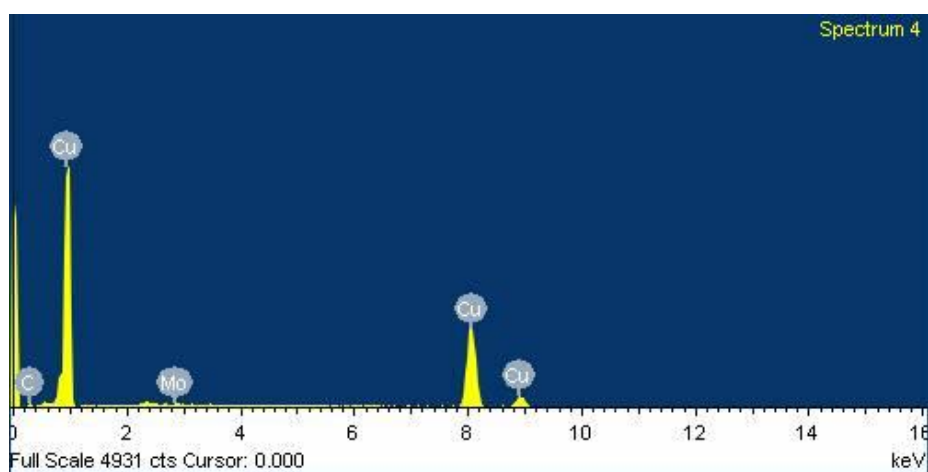
6.2.1.6.5. Kvalitativna analiza površine uzorka kočione obloge – 3



Slika 112. Područje treće analize površine uzorka kočione obloge

Element	Weight%	Atomic%
C K	7.84	31.19
Cu K	90.21	67.84
Mo L	1.95	0.97
Totals	100.00	

Slika 113. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 3



Slika 114. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 3

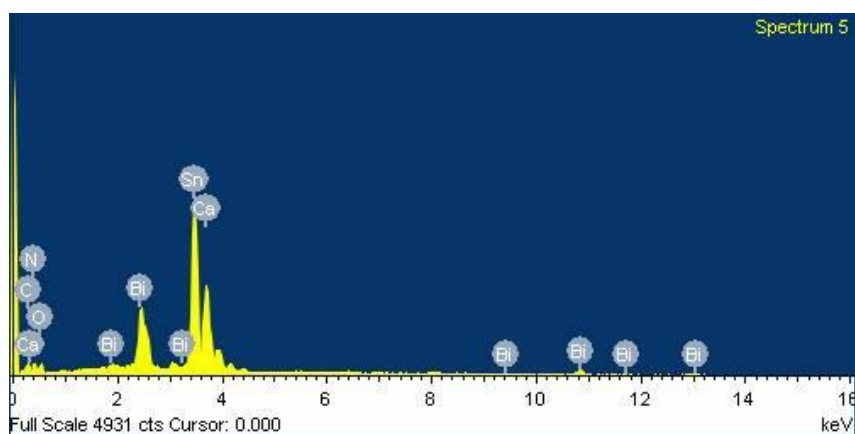
6.2.1.6.6. Kvalitativna analiza površine uzorka kočione obloge – 4



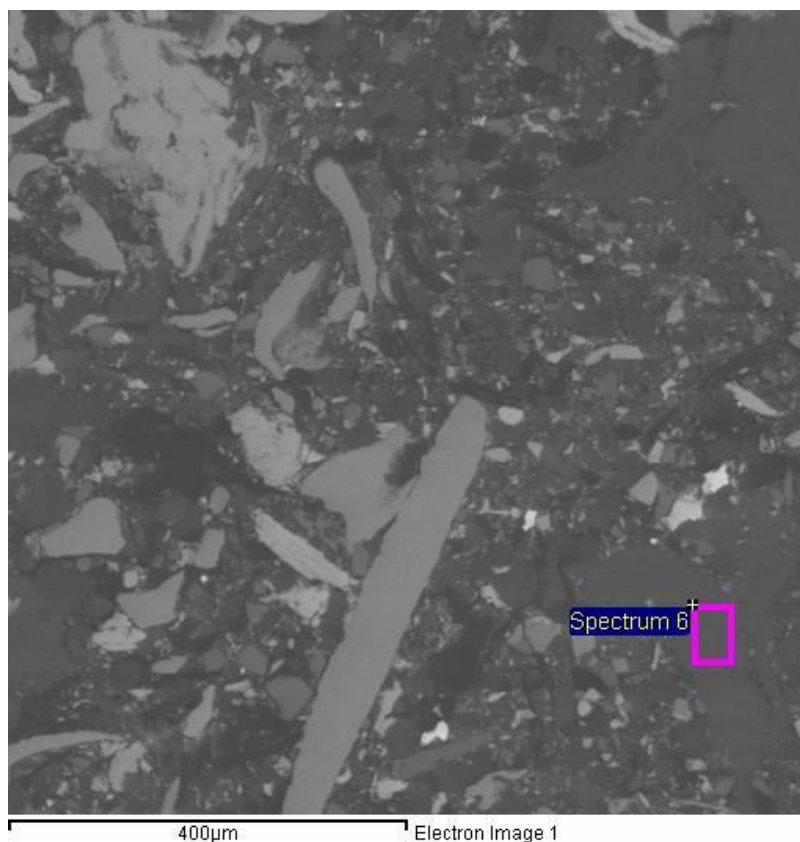
Slika 115. Područje četvrte analize površine uzorka kočione obloge

Element	Weight%	Atomic%
C K	3.53	18.12
N K	0.86	3.81
O K	9.56	36.89
Ca K	0.75	1.16
Sn L	65.99	34.31
Bi M	19.30	5.70
Totals	100.00	

Slika 116. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 4

Slika 117. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge
- 4

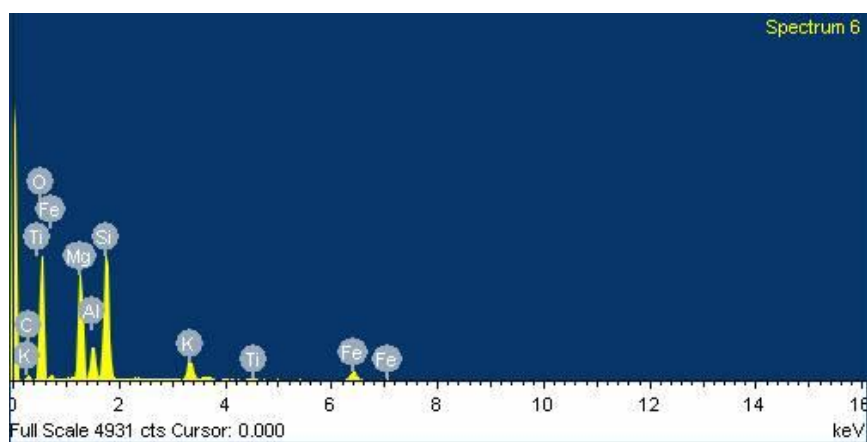
6.2.1.6.7. Kvalitativna analiza površine uzorka kočione obloge – 5



Slika 118. Područje pete analize površine uzorka kočione obloge

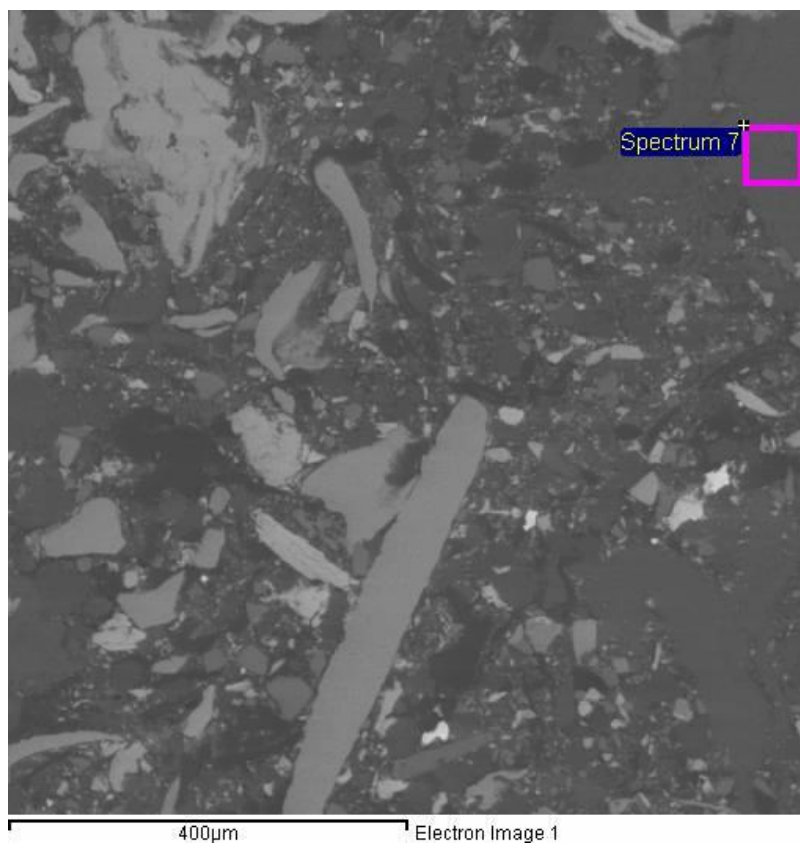
Element	Weight%	Atomic%
C K	9.24	14.52
O K	49.53	58.40
Mg K	13.41	10.41
Al K	4.06	2.84
Si K	15.99	10.74
K K	3.09	1.49
Ti K	0.40	0.16
Fe K	4.26	1.44
Totals	100.00	

Slika 119. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 5



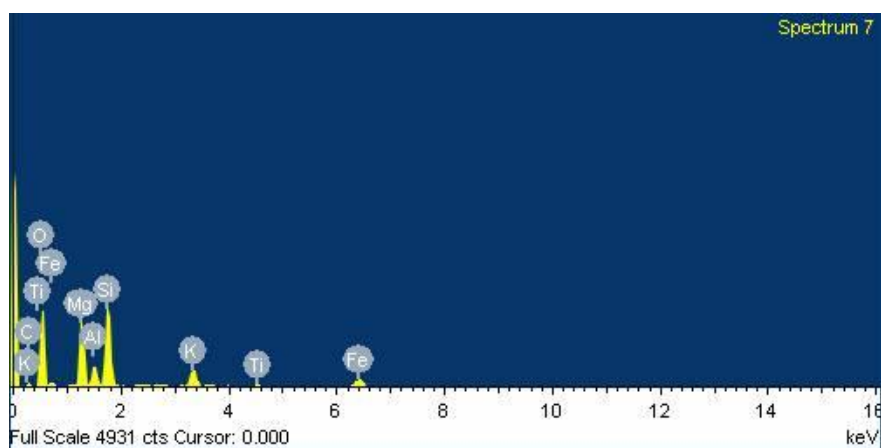
Slika 120. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 5

6.2.1.6.8. Kvalitativna analiza površine uzorka kočione obloge – 6



Slika 121. Područje šeste analize površine uzorka kočione obloge

Element	Weight%	Atomic%
C K	10.77	16.97
O K	47.80	56.56
Mg K	12.35	9.62
Al K	3.78	2.65
Si K	14.95	10.07
K K	3.96	1.92
Ti K	0.61	0.24
Fe K	5.78	1.96
Totals	100.00	



Slika 123. EDS kemijska analiza elemenata uzorka kočione obloge - 6

Slika 122. Udio elemenata uzorka kočione obloge – 6

Iz slika 115. do 123. zbog značajnog sadržaja oksida i ugljika može se zaključiti da se radi o kompozitu s keramičkom matricom koja se sastoji od mješavine oksida i karbida nekog od prisutnih metala u strukturi (Si, Al, Mg, Ti).

Slike od 109. do 114. pokazuju ojačanja (punila) različitog oblika i kemijskog sastava koja također zbog značajnog sadržaja ugljika i kisika mogu biti keramička (npr. borov karbid), ali prisutni kositar i bakar u nekim drugim fazama vjerojatno su u metalnom obliku zbog nekih drugih razloga, a ne zbog povećanja otpornosti na trošenje.

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je dao analizu primjera trošenja dijelova cestovnih vozila. Ključno je bilo utvrditi od kojeg materijala su uzorci detaljno ispitanog tribološkog para kočioni disk – kočiona obloga. Iz podataka dobivenih kvalitativnom analizom pomoću SEM-a i EDS-a zaključuje se da je kočioni disk izrađen od sivog lijeva koji je pogodan za tu primjenu zbog njegovih mehaničkih svojstava te cijene.

Kako bi poboljšali funkciju kočionog diska može se upotrijebiti kompozit ugljičnih vlakana i keramike. Takav materijal je mnogo lakši, otporniji na trošenje, proizvodi manje buke pri trošenju i manje kočione prašine, bolje je korozijski postojan i pokazao je bolji učinak i u vlažnim i suhim uvjetima. Nedostatak mu je što mu treba više vremena da postigne radnu temperaturu, a najveći problem kod takvih materijala je cijena zbog koje se još uvijek zadržavaju samo u području trkaćih vozila.

Za uzorak kočione obloge prema dobivenim kvalitativnim analizama može se zaključiti samo da se radi o zaista kompliciranom kompozitu koji sadrži razna ojačanja, punila i tvari koje pridonose klizanju. Ovako kompleksni materijal za izradu kočione obloge može se objasniti činjenicom da se radi o automobilu više srednje klase.

LITERATURA

- [1] *Tehnika motornih vozila - 2. neizmijenjeno izdanje*, preveo Goran Popović, Hrvatska obrtnička komora, Pučko otvoreno učilište, Zagreb 2004.
- [2] <http://www.ssplprints.com/image/94393/lenoir-gas-engine-1860> 31.01.2017.
- [3] <http://www.emercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/classic/mercedes-benz-history-the-route-to-the-riding-car/> 31.01.2017.
- [4] <https://corporate.ford.com/history.html> 01.02.2017.
- [5] <https://www.netcarshow.com/> 02.02.2017.
- [6] <https://www.daimler.com/company/tradition/company-history/> 02.02.2017.
- [7] <https://reedbrothersdodgehistory.wordpress.com/1914-1920-2/rockville-garage/> 06.02.2017.
- [8] <http://www.promotehna.hr/osobni-program-dizalice-dvostupne> 06.02.2017.
- [9] <http://www.lincos.hr> 08.02.2017.
- [10] centar-alata.hr/ 08.02.2017.
- [11] <http://krafter.hr/proizvod/set-kljuceva-vilicasti/> 09.02.2017.
- [12] <http://www.werkteh.hr/proizvod/kljucevi-kljucevi-okasti/unior-garnitura-okastih-kljuceva-na-metalnom-stalku-dim.-6-32-mm-605545-1155> 10.02.2017.
- [13] Grilec, K., Jakovljević, S. : *Tribologija - autorizirana predavanja*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb. 2015.
- [14] <http://ecatalog.mitutoyo.com/Vernier-Calipers-Series-530-Standard-Model-C1401.aspx> 14.02.2017.
- [15] <http://picclick.fr/x1-Brake-Disc-Golf-Passat-Corrado-535615301-Front-401170161376.html> 16.02.2017.
- [16] <http://www.njuskalo.hr/kocnice-dijelovi/kocioni-diskovi-skoda-octavia-vozila-oglas-13227778> 18.02.2017.
- [17] <http://www.autozone.com> 18.02.2017.
- [18] Ensminger, D. : *Ultrasonics: data, equations, and their practical uses, Volume 10*, Boca Raton, Florida 2009.
- [19] <https://www.comsol.com/blogs/simulating-heating-of-brake-discs-in-a-car/> 18.02.2017.
- [20] http://www.vorax.hr/dokumenti/hr/mjer_tvr_hr.html 18.02.2017.
- [21] <https://wings.buffalo.edu/faculty/research/scic/sem-eds.html> 18.02.2017.

-
- [22] Goldstein, J. : Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis: Third Edition, Plenum, 2003.
- [23] Filetin, T., Kovačiček, F., Indof, J. : *Svojstva i primjena materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.
- [24] Filetin, T. : *Izbor materijala pri razvoju proizvoda*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006.

PRILOZI

I. CD-R disk